

Научно-технический  
журнал

Издается с 2003 года

Выходит четыре раза в год

**№ 4-2(83) 2023**

# Мир транспорта и технологических машин

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

**Главный редактор:**  
**Новиков А.Н.** д-р техн. наук, проф.

**Заместители главного редактора:**  
**Васильева В.В.** канд. техн. наук, доц.  
**Родимцев С.А.** д-р техн. наук, доц.

**Редколлегия:**  
**Агеев Е.В.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Агуареев И.Е.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Бажинов А.В.** д-р техн. наук, проф. (Украина)  
**Басков В.Н.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Власов В.М.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Глаголев С.Н.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Демич М.** д-р техн. наук, проф. (Сербия)  
**Денисов А.С.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Жаковская Л.** д-р. наук, проф. (Польша)  
**Жанказиев С.В.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Зырянов В.В.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Мартюченко И.Г.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Митусов А.А.** д-р техн. наук, проф. (Казахстан)  
**Нордин В.В.** канд. техн. наук, доц. (Россия)  
**Прентковский О.** д-р техн. наук, проф. (Литва)  
**Прижбыл 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)  
**Юнгмайстер Д.А.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Шарата А.** д-р. наук, проф. (Польша)

**Ответственный за выпуск:** Акимочкина И.В.

**Адрес редколлегии:**  
302030, Россия, Орловская обл., г. Орёл,  
ул. Московская, 77  
Тел. +7 905 856 6556  
<https://oreluniver.ru/science/journal/mtitm>  
E-mail: [srmostu@mail.ru](mailto:srmostu@mail.ru)

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

**Подписной индекс: 16376**  
по объединенному каталогу «Пресса России»  
на сайтах [www.pressa-rf.ru](http://www.pressa-rf.ru) и [www.akc.ru](http://www.akc.ru)

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

## Содержание

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

### Эксплуатация, ремонт, восстановление

<i>С.В. Корнеев, В.Д. Бакулина, С.В. Пашукевич Использование показателей качества моторных масел в оценке периодичности их замены в двигателях внутреннего сгорания автомобилей.....</i>	3
<i>Д.О. Ломакин, А.В. Симушкин Совершенствование технологии диагностирования ходовой части легковых автомобилей .....</i>	9
<i>А.Ю. Родичев, О.А. Иванов, И.В. Родичева, К.В. Васильев Роль больших данных в цифровизации автомобильной отрасли: новые возможности для удаленной диагностики автомобилей.....</i>	14
<i>Р.Н. Поляков, А.А. Ревков Торсиональный вариатор с функцией активного изменения прижимного усилия.....</i>	22

### Технологические машины

<i>Го Аохуа Стратегия Китая по созданию беспилотного транспорта.....</i>	29
--	----

### Безопасность движения и автомобильные перевозки

<i>М.Г. Бояришинов, А.С. Вавилин Анализ продолжительности движения автомобилей в транспортном потоке на дорогах с разными типами пересечений.....</i>	35
<i>Д.Г. Неволин, А.А. Цариков Использование информационных технологий для исследования пространственной скорости сообщения транспорта в крупнейших городах России .</i>	44
<i>А.В. Кулев, М.В. Кулев Комплексная методика выбора подвижного состава городского пассажирского транспорта.....</i>	53
<i>А.С. Афанасьев, И.А. Шаммазов, Е.А. Кузнецова Методика формирования интеграционной платформы функционирования транспортной системы наземного городского пассажирского транспорта .....</i>	61
<i>А.Н. Новиков, С.А. Жесткова Решение задачи маршрутизации с ограничениями величины партии груза и количества пунктов.....</i>	70
<i>И.А. Новиков, А.Н. Дегтярь, Д.А. Лазарев, В.Л. Махонин Совершенствование дорожно-транспортной экспертизы на основе исследования процесса перемещения автомобиля в состоянии потери управляемости.....</i>	77

### Вопросы экологии

<i>К.А. Магдин Снижение негативного воздействия автомобильного транспорта на окружающую среду с применением микроскопического имитационного моделирования.....</i>	87
--	----

### Образование и кадры

<i>Р.Н. Сафиуллин, Р.Р. Сафиуллин, В.А. Ефремова, М.Р. Баширов Методика обоснования состава бортовой информационно-управляющей системы транспортных средств.....</i>	95
<i>А.В. Манящин Обработка данных GNSS-мониторинга в мобильном приложении STAMM 4.2.....</i>	104
<i>С.Н. Журавлев Развитие технологии «автомашинист» для маневрового локомотива .....</i>	111

### Экономика и управление

<i>С.А. Лягин, Ю.Н. Ризаева, Д.А. Кадасев Использование мультиагентного подхода для структурирования виртуальных предприятий на базе транспортно-логистических систем.....</i>	117
<i>Ю.Н. Ризаева, В.А. Логинов, С.Н. Сухатерина, А.Б. Сухатерин Управление развитием грузового автотранспортного предприятия.....</i>	123
<i>М.И. Мальшиев Основы и методологические аспекты управления формированием комплексных транспортных систем в процессе интеграции мультимодальных коридоров и региональной инфраструктуры .....</i>	129
<i>В.И. Сарбаев, С. Джкованис, А.С. Гришин Цифровизация процесса формирования потребности автосервисного центра в запасах запасных частей (на примере республики Кипр) .....</i>	137

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

Scientific and technical journal  
Published since 2003  
A quarterly review  
**№ 4-2(83) 2023**

# World of transport and technological machines

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

*Editor-in-Chief*  
**A.N. Novikov** Doc. Eng., Prof

*Associates Editor*  
**V.V. Vasileva** Can. Eng.  
**S.A. Rodimzev** Doc. Eng.

*Editorial Board:*  
**E.V. Ageev** Doc. Eng., Prof. (Russia)  
**I.E. Agureev** Doc. Eng., Prof. (Russia)  
**A.V. Bazhinov** Doc. Eng., Prof. (Ukraine)  
**V.N. Baskov** Doc. Eng., Prof. (Russia)  
**V.M. Vlasov** Doc. Eng., Prof. (Russia)  
**S.N. Glagolev** Doc. Eng., Prof. (Russia)  
**M. Demic** Doc. Eng., Prof. (Serbia)  
**A.S. Denisov** Doc. Eng., Prof. (Russia)  
**L. Žakowska** Ph.D., Doc. Sc., Prof. (Poland)  
**S.V. Zhanakaziev** Doc. Eng., Prof. (Russia)  
**V.V. Zryyanov** Doc. Eng., Prof. (Russia)  
**I.G. Martyuchenko** Doc. Eng., Prof. (Russia)  
**A.A. Mitusov** Doc. Eng., Prof. (Kazakhstan)  
**V.V. Nordin** Can. Eng. (Russia)  
**O. Prentkovskis** Doc. Eng., Prof. (Lithuania)  
**P. Pribyl** Doc. Eng., Prof. (Czech Republic)  
**A.E. Pushkarev** Doc. Eng., Prof. (Russia)  
**A.N. Rementsov** Doc. Edc., Prof. (Russia)  
**V.I. Sarbaev** Doc. Eng., Prof. (Russia)  
**L.A. Sivachenko** Doc. Eng., Prof. (Belarus)  
**D.A. Yungmeyster** Doc. Eng., Prof. (Russia)  
**A. Szarata** Ph.D., Doc. Sc., Prof. (Poland)

*Person in charge for publication:*  
**I.V. Akimochkina**

*Editorial Board Address:*  
302030, Russia, Orel, Orel Region,  
Moskovskaya str., 77  
Tel. +7 (905)8566556  
<https://oreluniver.ru/science/journal/mtitm>  
E-mail: [srmostu@mail.ru](mailto:srmostu@mail.ru)

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

Subscription index: 16376  
in a union catalog «The Press of Russia»  
on sites [www.pressa-rf.ru](http://www.pressa-rf.ru) и [www.akc.ru](http://www.akc.ru)

© Registration. Orel State University, 2023

## Contents

### Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference «Information Technologies and Innovations in Transport»

#### Operation, Repair, Restoration

S.V. Korneev, V.D. Bakulina, S.V. Pashukevich The use of engine oil quality indicators in assessing the frequency of their replacement in internal combustion engines of cars.....	3
D.O. Lomakin, A.V. Simushkin Improving the technology of diagnosing the chassis of passenger cars.....	9
A.Yu. Rodichev, O.A. Ivanov, I.V. Rodicheva, K.V. Vasiliev The role of big data in the digitalization of the automotive industry: new opportunities for remote vehicle diagnostics.....	14
R.N. Polyakov, A.A. Revkov The toroidal variator with the function of active changing of the clamping force.....	22

#### Technological machines

Go Aohua China's strategy for unmanned transport.....	29
---	----

#### Road safety and road transport

M.G. Boyarshinov, A.S. Vavilin Analysis of the duration of movement of vehicles in the traffic flow on roads with various types of crossings.....	35
D.G. Nevolin, A.A. Tsarikov The use of information technologies to study the spatial speed of transport communication in the largest cities of Russia.....	44
A.V. Kulev, M.V. Kulev Comprehensive methodology for the selection of rolling stock of urban passenger transport.....	53
A.S. Afanasyev, I.A. Shammazov, E.A. Kuznetsova Methodology for the formation of an integration platform for the functioning of the transport system of surface urban passenger transport.....	61
A.N. Novikov, S.A. Zhestkova Solving the problem of routing with restrictions on the size of cargo and the number of points.....	70
I.A. Novikov, A.N. Degtyar, D.A. Lazarev, V.L. Makhonin The improvement of road transport expertise on the basis of investigation of the process of vehicle movement in the state of loss of control.....	77

#### Ecological Problems

K.A. Magdin Reducing the negative impact of road transport on the environment using microscopic simulation.....	87
---	----

#### Education and Personnel

R.N. Safiullin, R.R. Safiullin, V.A. Efremova, M.R. Bashirov Methodology of substantiation of the composition of the on-board information and control system of vehicles....	95
A.V. Manyashin Processing of GNSS monitoring data in mobile application STAMM 4.2	104
S.N. Zhuravlev Development of «automachinist» technology for shunting locomotives....	111

#### Economics and Management

S.A. Lyapin, Y.N. Rizaeva, D.A. Kadasev Using a multi-agent approach for structuring virtual enterprises based on transport and logistics systems.....	117
Yu.N. Rizaeva, V.A. Loginov, S.N. Sukhaterina, A.B. Suhaterin Development management freight motor transport enterprise.....	123
M.I. Malyshov Bases and methodological aspects of managing the formation of integrated transport systems in the process of integration of multimodal corridors and regional infrastructure.....	129
V.I. Sarbaev, S. Tziovannis, A.S. Grishin Digitalization of the process of forming the need of a car service center for stocks of spare parts (on the example of the republic of Cyprus).....	137

*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*

## ЭКСПЛУАТАЦИЯ, РЕМОНТ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ

Научная статья

УДК 665.6/.7

doi:10.33979/2073-7432-2023-4-2(83)-3-8

С.В. КОРНЕЕВ, В.Д. БАКУЛИНА, С.В. ПАШУКЕВИЧ

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА МОТОРНЫХ МАСЕЛ В ОЦЕНКЕ ПЕРИОДИЧНОСТИ ИХ ЗАМЕНЫ В ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

**Аннотация.** Представлены результаты исследования моторных масел с разной базовой основой, загрязненных установленными концентрациями дизельного топлива. Результатом исследования стало получение показателей, свидетельствующих о потере работоспособности моторного масла в условиях эксплуатации. Представленные результаты могут быть использованы при определении периодичности замены смазочных материалов в двигателях внутреннего сгорания в зависимости от технического состояния моторного масла.

**Ключевые слова:** моторное масло, двигатель внутреннего сгорания, работоспособность моторных масел, показатели качества моторного масла, рациональная замена смазочных материалов, эксплуатация автомобилей

### Введение

Моторные масла являются одним из важнейших элементов химмотологической системы, включающей в себя требования к конструкции техники, условиям эксплуатации и качеству используемых смазочных материалов. При работе в двигателях внутреннего сгорания автомобилей моторные масла подвергаются изменениям как со стороны систем двигателей внутреннего сгорания, так и от воздействия внешних условий [1-4].

В процессе эксплуатации двигателей внутреннего сгорания автомобилей могут возникать разнообразные дефекты: стуки, заклинивания, задиры, износ элементов цилиндропоршневой группы. Одной из причин появления указанных дефектов могут быть отложения на деталях двигателя, которые, в свою очередь, являются продуктами износа моторных масел. К продуктам износа моторных масел относятся: топливо, сажа, вода и другие загрязнители, а также – накопление продуктов окисления и срабатываемости присадок [5-7].

Загрязнение моторных масел топливом приводит к изменению показателей, характеризующих их качество, основными можно считать температуру вспышки, определяемую в открытом тигле и кислотно-щелочные характеристики. Изменение значений этих показателей свидетельствует о потере работоспособности моторного масла и может стать причиной накопления продуктов износа. Продукты износа, накапливаясь в моторном масле, являются причиной образования различных отложений на деталях двигателей, которые, в конечном итоге, приводят к его поломке [8-11].

Таким образом, можно говорить о том, что изменение показателей качества моторных масел, является свидетельством потери маслом работоспособности и служит сигналом о необходимости его замены [12-20]. В связи с этим, целью данного исследования является установление взаимосвязи между показателями качества моторных масел и периодичностью их рациональной замены.

В рамках реализации поставленной цели реализованы следующие задачи:

- 1) подготовка образцов моторных масел для проведения высокотемпературного окисления для дальнейшего определения основных показателей качества.
- 2) оценка изменений показателей качества моторных масел.
- 3) определение предельных показателей, которые свидетельствуют о потере работоспособности моторных масел и необходимости их замены.

### Материал и методы

Для проведения исследования были выбраны моторные масла на синтетической базовой основе от разных производителей. Наиболее значимыми показателями качества моторных масел являются: кинематическая вязкость при  $100^0\text{C}$ , щелочное число, индекс вязкости, температура вспышки в открытом тигле.

Основные характеристики масел, выбранных для исследования, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики моторных масел, выбранных для исследования

Показатель	Ekoil Turbo Max Plus 5w40	Лукойл Люкс 5w40	Q8 Formula Excel 5w40
Базовая основа	Синтетическое	Синтетическое	Синтетическое
Кинематическая вязкость при $100^0\text{C}$ , $\text{мм}^2/\text{с}$	13,8	13,6	14,0
Щелочное число, мг КОН/г	9,87	8,5	7,1
Индекс вязкости	139	176	177
Температура вспышки в открытом тигле, $^0\text{C}$	202	235	221

Для проведения исследования, заранее подготовленные образцы моторных масел, разбавленные установленными концентрациями дизельного топлива, подвергались высокотемпературному окислению в присутствии стальных пружин и медных пластинок, выступающих в роли катализаторов. Высокотемпературное окисление проводится с целью искусственного старения моторного масла в условиях, подобных тем, в которых находится масло в двигателях внутреннего сгорания автомобилей.

Для проведения высокотемпературного окисления используется аппарат АПСМ-1, в качестве окисляющего реагента выступает кислород, его расход составляет – 200 мл/мин. Условия проведения окисления: температура термостатирующей жидкости –  $200^0\text{C}$ , погрешность поддержания стабильности расхода кислорода не более  $\pm 10\%$ , абсолютная погрешность поддержания температуры термостатирующей жидкости не более  $\pm 0,5^0\text{C}$ , время окисления – 3 часа.

Высокотемпературному окислению подвергались 7 образцов каждого из представленных в таблице 1 моторных масел:

Для испытания были приготовлены по 7 образцов каждого из исследуемых масел:

- 1) свежее масло;
- 2) окисленное масло;
- 3) свежее масло + 0,1 % дизельное топливо;
- 4) свежее масло + 1 % дизельное топливо;
- 5) свежее масло + 3 % дизельное топливо;
- 6) свежее масло + 5 % дизельное топливо;
- 7) свежее масло + 7 % дизельное топливо.

После высокотемпературного окисления образцы были оставлены в лаборатории на 1 сутки, затем перелиты в колбы для проведения измерений основных показателей качества. В ходе данного исследования были измерены следующие качественные показатели моторных масел: температура вспышки, определяемая в открытом тигле; кислотное число; щелочное число; кинематическая вязкость при температурах  $40^0\text{C}$  и  $100^0\text{C}$ . Наиболее демонстративными для иллюстрации результатов исследования являются показатели измерений температуры вспышки и кислотно-щелочных характеристик.

### Теория

На рисунках 1-3 представлены результаты определения температуры вспышки в открытом тигле для всех исследуемых образцов

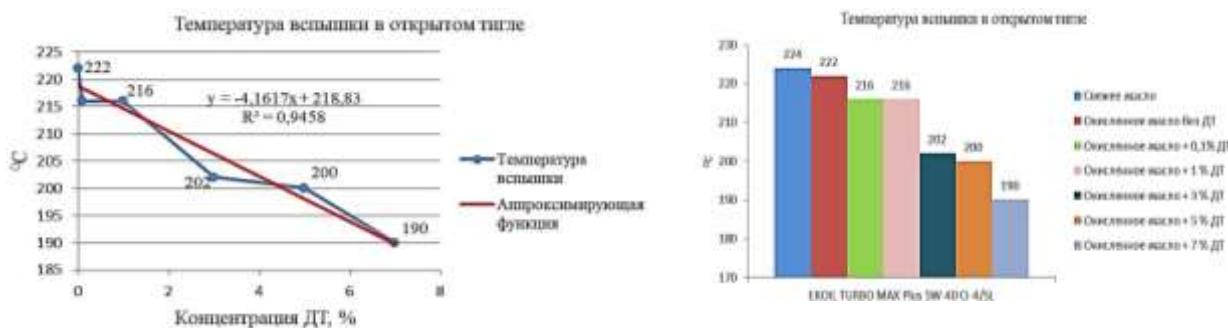


Рисунок 1 – Температура вспышки в открытом тигле образцов масла Ekoil Turbo Max Plus 5w40

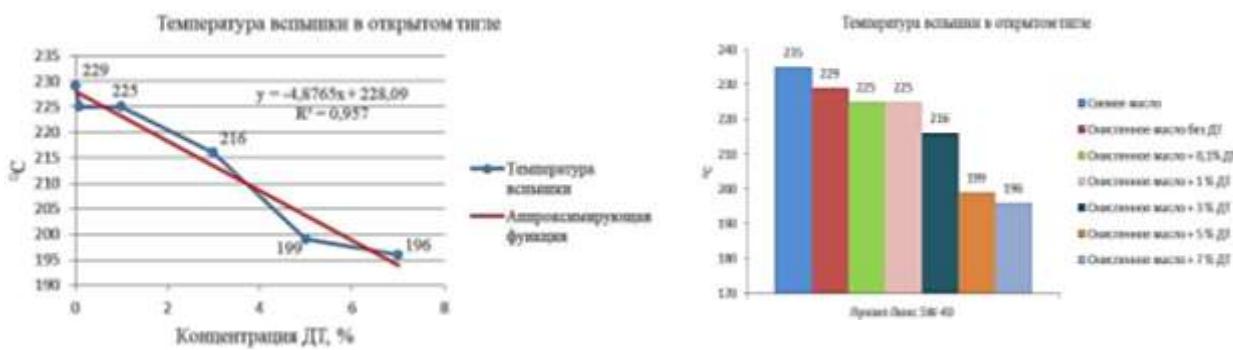


Рисунок 2 – Температура вспышки в открытом тигле образцов масла Lukoil Lux 5w40

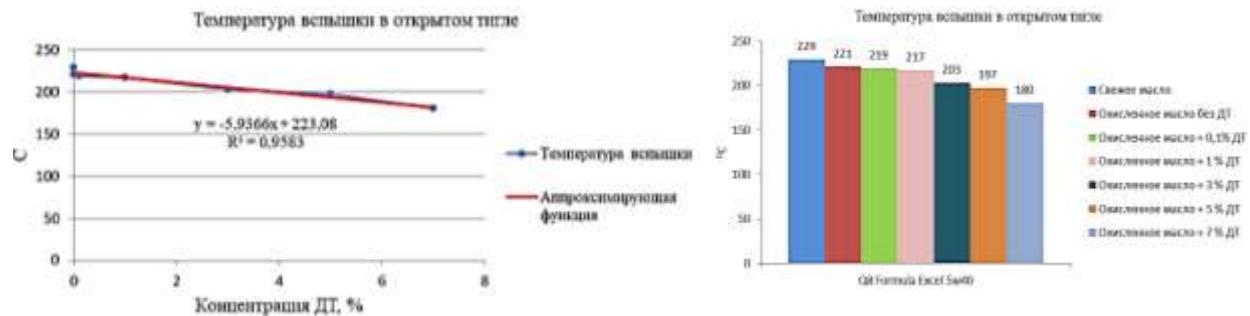


Рисунок 3 – Температура вспышки в открытом тигле масла Q8 Formula Excel 5w40

У всех представленных для исследования образцов моторных масел наблюдается снижение температуры вспышки с увеличением концентрации дизельного топлива и намечена тенденция к дальнейшему снижению этого показателя. Таким образом, используя полученные уравнения аппроксимации, можно рассчитать предельную концентрацию дизельного топлива в моторном масле, которая будет свидетельствовать о потере работоспособности моторного масла. Для значений температуры вспышки предельным будет считаться снижение этого показателя на 10 %, по сравнению с заявленным в техническом паспорте моторного масла. По результатам расчетов, для указанных образцов моторных масел, такое снижение произойдет уже при попадании 1,2 % дизельного топлива.

На рисунках 4-6 представлены результаты определения кислотно-щелочных характеристик исследуемых образцов моторных масел.

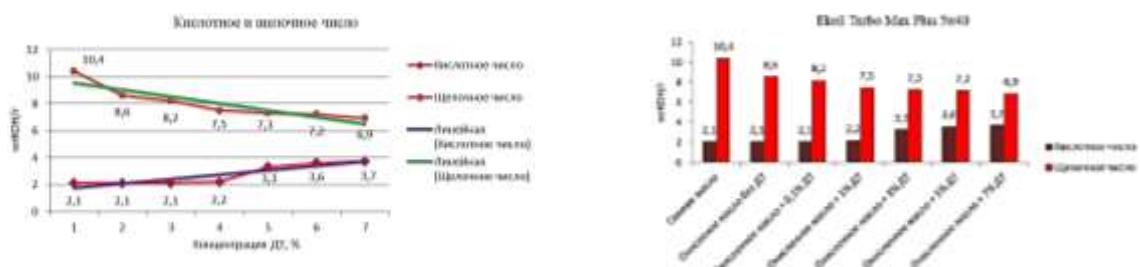


Рисунок 4 – Соотношение кислотного и щелочного числа в исследованных образцах масла Ekoil Turbo Max Plus 5w40

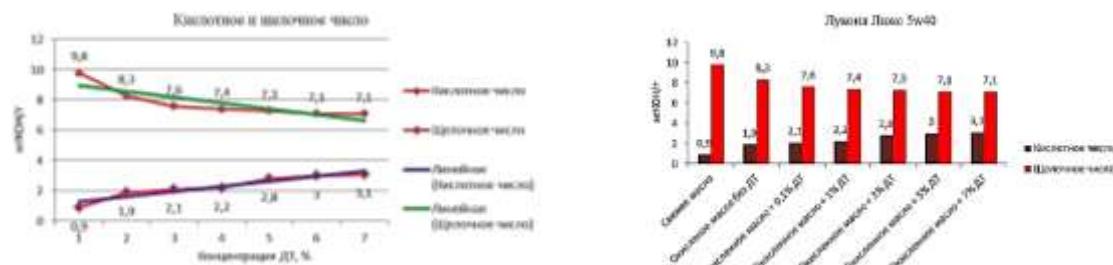


Рисунок 5 – Соотношение кислотного и щелочного числа в исследованных образцах масла Lukoil Lux 5w40

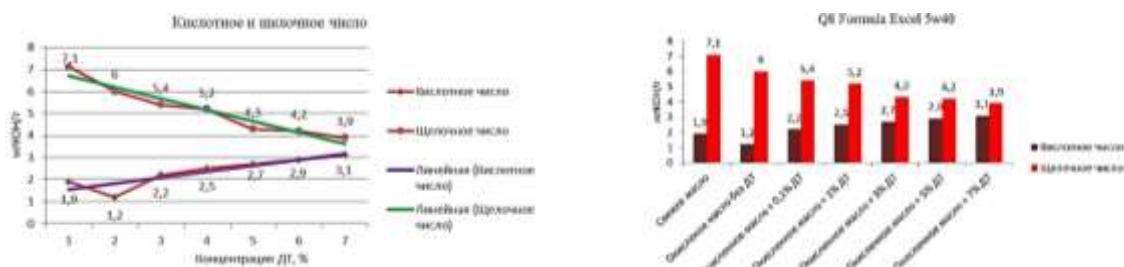


Рисунок 6 – Соотношение кислотного и щелочного числа в исследованных образцах масла  
Q8 Formula Excel 5w40

### Результаты и обсуждение

Изменение соотношения кислотного и щелочного числа в сторону повышения кислотного наблюдается при увеличении концентрации дизельного топлива в моторном масле. Для кислотно-щелочных характеристик браковочным показателем является превышение кислотного числа по отношению к щелочному. В представленных результатах этого не наблюдается, однако, получив линии тренда и уравнения аппроксимации, можно рассчитать предельные концентрации дизельного топлива, при которых моторное масло потеряет свою работоспособность по кислотно-щелочным характеристикам. Для исследуемых образцов такая концентрация составляет 12,6 %.

Таким образом, по изменению показателей качества моторных масел можно судить о накоплении продуктов износа в моторном масле, что может негативно повлиять на работу двигателя внутреннего сгорания автомобиля.

### Выводы

Изменение показателей качества моторного масла при эксплуатации в двигателях внутреннего сгорания автомобилей свидетельствует о накоплении продуктов износа, что негативно сказывается на работе двигателя.

В ходе исследования получены зависимости изменений показателей качества моторных масел от концентрации дизельного топлива: предельное содержание топлива для выборки по показателю температуры вспышки составляет – 1,2 %; по кислотно-щелочным характеристикам – 12,6 %.

Таким образом, по изменениям показателей качества моторного масла можно судить о накоплении продуктов износа и делать вывод о необходимости его замены. Результаты, полученные в ходе этого исследования, могут служить основой для разработки рекомендаций по техническому обслуживанию автомобилей, в частности о периодичности замены моторных масел в зависимости от их фактического износа. Такой подход наиболее рационален с точки зрения технико-экономического подхода.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Двигатели внутреннего сгорания: Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей: Учебник для студентов вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / В.П. Алексеев, В.Ф. Воронин, Л.В. Грехов и др.; Под общ. ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.
2. Дьяченко В.Г. Теория двигателей внутреннего сгорания: Учебник / В.Г. Дьяченко. – Перевод с украинского языка. – Харьков: ХНАДУ, 2009. – 500 с.
3. Свистула А.Е. Двигатели внутреннего сгорания: Учебное пособие / А.Е. Свистула; Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул: АлтГТУ, 2009. – 81 с.
4. Корнеев С.В., Бакулина В.Д., Пашукевич С.В. Оценка влияния отдельных физико-химических показателей моторных масел на содержание продуктов износа при эксплуатации двигателей автомобилей // Динамика систем, механизмов и машин. – 2022. – Т. 10. – №4. – С. 2-6.
5. Бакулина В.Д., Корнеев С.В. Использование температуры вспышки моторного масла в качестве диагностического параметра двигателей внутреннего сгорания автомобилей // Трибология – машиностроению: Труды XIV Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения А.П. Семёнова. – М.: ИМАШ РАН, 2022. – С. 26-28.
6. Нигматуллин Р.Г., Костенков Д.М., Хафизова А.Г., Пелецкий С.С. Экспресс-устройство для определения степени разбавления моторных масел топливом и изнашивания двигателя // Химия и технология топлив и масел. – 2012. – № 1. – С. 52-53.
7. Корнеев С.В., Бакулина В.Д., Ярмович Я.В., Пашукевич С.В., Пермяков В.Б. Влияние высоких температур на изменение эксплуатационных характеристик моторных масел при попадании топлива // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства: материалы 10-й Междунар. науч.-техн. конфе-

- ренции. - Омск: ОмГТУ, 2020. - С. 11-12.
8. Корнеев С.В., Бакулина В.Д., Буравкин Р.В., Гурдин В.И. Проблема загрязнения деталей двигателей // Вестник СибАДИ. - Вып. 1 (53). - 2017. - С. 67-72.
9. Зорин И.А., Корнеев С.В., Финагин К.В. Влияние окисления базовых минеральных моторных масел на их трибологические характеристики // Омский научный вестник. - 2012. - №1(107). - С. 330-333.
10. Korneev S.V., Bakulina V.D., Yarmovich Y.V., Pashukevich S.V., Permyakov V.B. Influence of high temperatures on changes in the performance characteristics of motor oils when diluted with fuel [Электронный ресурс] / AIP Conference Proceedings 2285. - 020010. - 2020. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1063/5.0026994>.
11. Корнеев С.В., Пашукевич С.В., Жаворонкова Я.В., Бакулина В.Д., Ярмович Я.В. Влияние дизельного топлива на окисляемость моторных масел в автомобильных двигателях // Химическая промышленность сегодня. - 2020. - №6. - С. 38-41.
12. Korneev S.V., Yarmovich Y.V., Kaveev A.M., Pashukevich S.V., Permyakov V.B., Buravkin R.V., Anoprienko A.A., Kornilovich S.A. The influence of climatic factors on the destruction of shock-loaded bearings of mobile machines // AIP Conference Proceedings 2141. – 030038. - 2019. – Doi: 10.1063/1.5122088.
13. Фитч Дж., Тройер Д. Анализ масел. Основы и применение / Пер. с англ. 2-го изд.; под ред. Е.А. Новикова, М.В. Кирихина. – СПб.: ЦОП «Профессия», 2015. – 176 с.
14. Балентас Р., Сафонов А.С., Ушаков А.И., Шергалис В. Моторные масла. – Москва-СПб: Альфа-Лаб, 2000. – 272 с.
15. Григорьев М.А., Бунаков Б.М., Долецкий В.А. Качество моторного масла и надежность двигателей. – М.: Издательство стандартов, 1981. – 232 с.
16. Папок К.К. Химмотология топлив и смазочных масел. – М.: Воениздат, 1987.
17. Чудиновских А.Л., Лашхи В.Л., Первушин А.Н., В.Г. Спиркин. Комплекс методов лабораторной оценки моторных масел – как оперативный способ определения качества // Журнал автомобильных инженеров. – 2012. – №5(76). – С. 40-42.
18. Лашхи В.Л., Виппер А.Б. и др. Противоизносные свойства моторных масел и методы их оценки. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1977. – 61 с.
19. Мухин Д.В., Вольсков Д.Г. Разработка методики прогнозирования срока службы моторных масел // Вестник УлГТУ. – 2016. – №2. – С. 33-37.
20. Ермилов Е.А., Ковальский Б.И., Безбородов Ю.Н., Олейник В.З. Оценка процессов окисления и температурной деструкции на противоизносные свойства моторных масел // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2017. – Вып. 6. – С. 214-222.

**Корнеев Сергей Васильевич**

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет

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

Д.т.н., профессор кафедры «Тепловые двигатели и автотракторное оборудование»

E-mail: svkorneev51@mail.ru

**Бакулина Вера Дмитриевна**

Омский государственный технический университет

Адрес: 644050, Россия, г. Омск, пр. Мира, 11

Старший преподаватель кафедры «Химия и химическая технология»

E-mail: ver-bakulina81@mail.ru

**Пашукевич София Вячеславовна**

Омский государственный технический университет

Адрес: 644050, Россия, г. Омск, пр. Мира, 11

Аспирант

E-mail: sofia96@bk.ru

S.V. KORNEEV, V.D. BAKULINA, S.V. PASHUKEVICH

**THE USE OF ENGINE OIL QUALITY INDICATORS IN ASSESSING THE FREQUENCY OF THEIR REPLACEMENT IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES OF CARS**

**Abstract.** The results of the research of motor oils with different base bases contaminated with established concentrations of diesel fuel are presented. The result of the research was to obtain indicators indicating the loss of engine oil performance under operating conditions. The presented results can be used to determine the frequency of replacement of lubricants in internal combustion engines, depending on the technical condition of the engine oil.

**Keywords:** engine oil, internal combustion engine, performance of motor oils, quality indicators of engine oil, rational replacement of lubricants, car operation

## BIBLIOGRAPHY

1. Dvigateli vnutrennego sgoraniya: Ustroystvo i rabota porshnevykh i kombinirovannykh dvigateley: Uchebnik dlya studentov vuzov po spetsial'nosti «Dvigateli vnutrennego sgoraniya» / V.P. Alekseev, V.F. Voronin, L.V. Grekhov i dr.; Pod obshch. red. A.S. Orlina, M.G. Kruglova. - 4-e izd., pererab. i dop. - M.: Mashinostroenie, 1990. - 288 s.
2. D'yachenko V.G. Teoriya dvigateley vnutrennego sgoraniya: Uchebnik / V.G. D'yachenko. - Perevod s ukra-inskogo yazyka. - Har'kov: HNADU, 2009. - 500 s.
3. Svistula A.E. Dvigateli vnutrennego sgoraniya: Uchebnoe posobie / A.E. Svistula; Alt. gos. tekhn. un-t im. I.I. Polzunova. - Barnaul: AltGTU, 2009. - 81 s.
4. Korneev S.V., Bakulina V.D., Pashukevich S.V. Otsenka vliyaniya otdel'nykh fiziko-khimicheskikh poka-zateley motornykh masel na soderzhanie produktov iznosa pri ekspluatatsii dvigateley avtomobiley // Dinamika sistem, mekhanizmov i mashin. - 2022. - T.10. - №4. - S. 2-6.
5. Bakulina V.D., Korneev S.V. Ispol'zovanie temperatury vspышki motornogo masla v kachestve di-agnosticheskogo parametra dvigateley vnutrennego sgoraniya avtomobiley // Tribologiya - mashinostroeniyu: Trudy XIV Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy 100-letiyu so dnya rozhdeniya A.P. Semionova. - M.: IMASH RAN, 2022. - S. 26-28.
6. Nigmatullin R.G., Kostenkov D.M., Hafizova A.G., Peletskiy S.S. Ekspress-ustroystvo dlya opredeleniya stepeni razbavleniya motornykh masel toplivom i iznashivaniya dvigateley // Himiya i tekhnologiya topliv i masel. - 2012. - № 1. - S. 52-53.
7. Korneev S.V., Bakulina V.D., YArmovich Ya.V., Pashukevich S.V., Permyakov V.B. Vliyanie vysokikh tem-peratur na izmenenie ekspluatatsionnykh kharakteristik motornykh masel pri popadanii topliva // Tekhnika i tekhnologiya neftekhimicheskogo i neftegazovogo proizvodstva: materialy 10-y Mezhdunar. nauch.-tekhn. konfe-rentsii. - Omsk: OmGTU, 2020. - S. 11-12.
8. Korneev S.V., Bakulina V.D., Buravkin R.V., Gurdin V.I. Problema zagryazneniya detaley dvigateley // VestnikSibADI. - Vyp. 1 (53). - 2017. - S. 67-72.
9. Zorin I.A., Korneev S.V., Finagin K.V. Vliyanie okisleniya bazovykh mineral'nykh motornykh masel na ikh tribologicheskie kharakteristiki // Omskiy nauchnyy vestnik. - 2012. - №1(107). - S. 330-333.
10. Korneev S.V., Bakulina V.D., Yarmovich Y.V., Pashukevich S.V., Permyakov V.B. Influence of high tem-peratures on changes in the performance characteristics of motor oils when diluted with fuel [Elektronnyy resurs] / AIP Conference Proceedings 2285. - 020010. - 2020. - Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.1063/5.0026994>.
11. Korneev S.V., Pashukevich S.V., Zhavoronkova Ya.V., Bakulina V.D., Yarmovich Ya.V. Vliyanie dizel'nogo topliva na okislyaemost' motornykh masel v avtomobil'nykh dvigateleyakh // Himicheskaya promyshlennost' segodnya. - 2020. - №6. - S. 38-41.
12. Korneev S.V., Yarmovich Y.V., Kaveev A.M., Pashukevich S.V., Permyakov V.B., Buravkin R.V., Anoprienko A.A., Kornilovich S.A. The influence of climatic factors on the destruction of shock-loaded bearings of mobile machines // AIP Conference Proceedings 2141. - 030038. - 2019. - Doi: 10.1063/1.5122088.
13. Fitch Dzh., Troyer D. Analiz masel. Osnovy i primenenie / Per. s angl. 2-go izd.; pod red. E.A. Novikova, M.V. Kiryukhina. - SPb.: TSOP «Professiya», 2015. - 176 s.
14. Balentas R., Safonov A.S., Ushakov A.I., Shergalis V. Motornye masla. - Moskva-SPb: Al'fa-Lab, 2000. - 272 s.
15. Grigor'ev M.A., Bunakov B.M., Doletskiy V.A. Kachestvo motornogo masla i nadezhnost' dvigateley. - M.: Izdatel'stvo standartov, 1981. - 232 s.
16. Papok K.K. Himmotologiya topliv i smazochnykh masel. - M.: Voenizdat, 1987.
17. Chudinovskikh A.L., Lashkhi V.L., Pervushin A.N., V.G. Spirkin. Kompleks metodov laboratornoy otsenki motornykh masel - kak operativnyy sposob opredeleniya kachestva // Zhurnal avtomobil'nykh inzhenerov. - 2012. - №5(76). - S. 40-42.
18. Lashkhi V.L., Vipper A.B. i dr. Protivoiznosnye svoystva motornykh masel i metody ikh otsenki. - M.: TSNIITEneftekhim, 1977. - 61 s.
19. Mukhin D.V., Vol'skov D.G. Razrabotka metodiki prognozirovaniya sroka sluzhby motornykh masel // Vestnik UIGTU. - 2016. - №2. - S. 33-37.
20. Ermilov E.A., Koval'skiy B.I., Bezborodov Yu.N., Oleynik V.Z. Otsenka protsessov okisleniya i tem-peraturnoy destruktsii na protivoiznosnye svoystva motornykh masel // Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki. - 2017. - Vyp. 6. - S. 214-222.

**Korneev Sergei Vasilyevich**

Siberian State Automobile And Highway University  
Address: 644050, Russia, Omsk, Mira Ave., 11  
Doctor of technical sciences  
E-mail: svkorneev51@mail.ru

**Pashukevich Sofia Vyacheslavovna**

The Omsk State Technical University  
Address: 644050, Russia, Omsk, Mira Ave., 11  
Graduate student  
E-mail: sofia96@bk.ru

**Bakulina Vera Dmitrievna**

The Omsk State Technical University  
Address: 644050, Russia, Omsk, Mira Ave., 11  
Senior lecturer  
E-mail: ver-bakulina81@mail.ru

Научная статья

УДК 656.138

doi:10.33979/2073-7432-2023-4-2(83)-9-13

Д.О. ЛОМАКИН, А.В. СИМУШКИН

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ХОДОВОЙ ЧАСТИ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

*Аннотация. В статье описана технология диагностирования ходовой части легковых автомобилей с использованием модернизированного стенда.*

*Ключевые слова:* ходовая часть, диагностика, люфт-детектор

### **Введение**

Одной из важнейших целей, стоящих перед автомобильным транспортом, является повышение эксплуатационной надёжности автомобилей, снижение затрат на их содержание. Для достижения этой цели необходимо решить задачи в двух направлениях:

1) выпуск автомобильной промышленностью автомобилей с большей надёжностью и ремонтопригодностью;

2) совершенствование методов технической эксплуатации автомобилей.

Задачи, связанные с совершенствованием методов технической эксплуатации автомобилей, требуют создания необходимой производственной базы для поддержания подвижного состава в исправном состоянии, широкого применения средств механизации и автоматизации производственных процессов [5-7]. Также одним из путей решения является широкое внедрение методов и средств технического диагностирования.

### **Материалы и методы**

Люфт-детектор представляет из себя платформу, совершающую возвратно-поступательные движения за счет чего производится имитация движения автомобиля по неровностям дорожного покрытия. С помощью диагностики на люфт-детекторе выявляют люфты и износы в элементах рулевого управления (рулевые тяги, наконечники рулевых тяг), а также в узлах подвески автомобиля [8-10]. Такая диагностика производится на нагруженной подвеске, а не на вывешанном автомобиле, что дает более объективные результаты. При этом усилие, прилагаемое к элементам подвески с помощью люфт-детектора много выше, чем с применением мускульной силы человека.

В результате проведенного анализа рынка люфт-детекторов, можно сделать вывод, что все конструкции люфт-детекторов можно разделить на три группы.

1) Ножничные подъемники со встроенным люфт-детектором (рис. 1).



*Рисунок 1 – Ножничный подъемник со встроенным люфт-детектором*

В таких конструкциях в ножничные (как правило электрогидравлические) подъемники встраиваются люфт-детекторы, которые имеют от 8 до 11 направлений.

## №4-2(83) 2023 Эксплуатация, ремонт, восстановление

Грузоподъемность ножничных подъемников со встроенными люфт-детекторами колеблется от 3,5 т до 6 т, а стоимость от 1200000 руб. до 4000000 руб. в зависимости от грузоподъемности и функционала [4, 11].

2) *Люфт-детекторы для установки на смотровую яму* (рис. 2). Конструкция представляет из себя люфт детекторы, которые монтируют в пол на осмотровой яме. Такие люфт-детекторы имеют от 8 до 11 направлений, грузоподъемность от 3,5 т до 16 т.

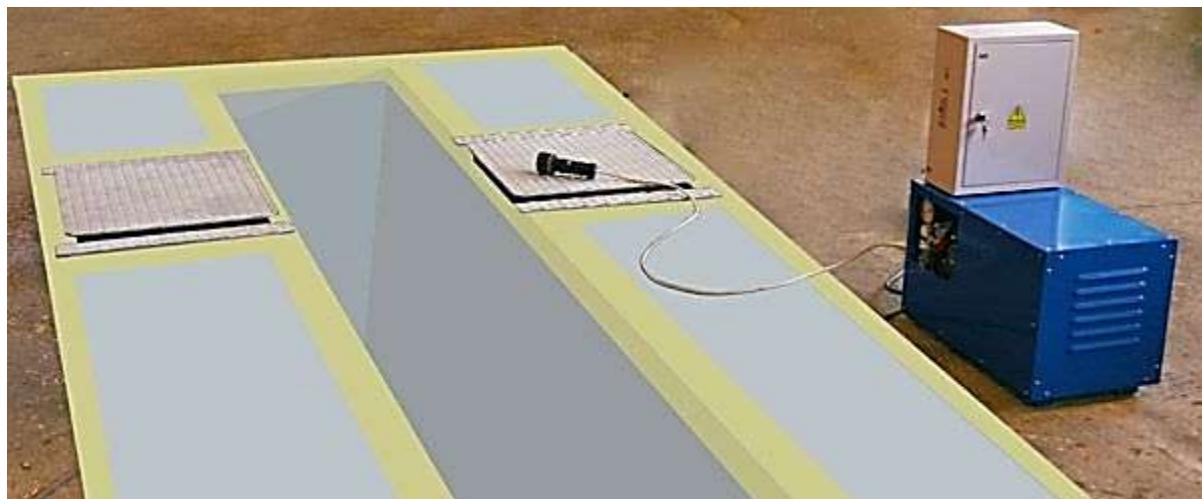


Рисунок 2 – Люфт-детектор для установки на смотровую яму

Стоимость люфт-детектора электрогидравлического для установки на смотровую яму варьируется от 300000 руб. до 1000000 руб.

3) *Переносные люфт-детекторы* (рис. 3). С помощью таких конструкций производится поочередная диагностика каждого колеса одной оси в ручном либо в автоматизированном режиме. Вес таких люфт-детекторов в зависимости от конструкции варьируется от 30 до 75 кг. Стоимость люфт-детектора ручного ЛД-4000Р отечественного производства (рис. 3) составит около 87000 руб. Стоимость автоматического гидравлического люфт-детектора ЛД-4000-2 составит около 120000 руб. Преимущество данных конструкций – относительно низкая стоимость, а к недостаткам можно отнести относительно долгий процесс диагностирования ходовой части одной оси автомобиля из-за того, что переносные люфт-детекторы не парные, а также то, что из-за установки переносных люфт-детекторов на ровный пол затруднен доступ к элементам ходовой части автомобиля [12-14].



Рисунок 3 – Переносной люфт-детектор

В результате анализа конструкций люфт-детекторов, можно сделать следующий вывод: переносные люфт-детекторы отечественного производства с электрогидравлическим приводом являются конкурентоспособными по цене, а по функционалу ничем не уступают дорогим аналогам иностранного производства, как в исполнении для ножничного подъемника, так и для смотровой ямы [15-17]. Существующий недостаток переносных люфт-детекторов, а именно неудобство визуального

осмотра ходовой части при отсутствии смотровой ямы, может быть устранен установкой пары переносных люфт-детекторов на платформенный подъемник [3].

### Теория

Предлагается использовать для диагностики ходовой части автомобиля гидравлический переносной люфт-детектор с двумя платформами ЛД-4000-2 (МЕТА, Россия) (рис. 4). Технические характеристики люфт-детектора представлены в таблице 1.



Рисунок 4 – Переносной люфт-детектор с двумя платформами ЛД-4000-2

Таблица 1 – Технические характеристики люфт-детектора ЛД-4000-2

Характеристика	Единицы измерения	Значение
Допустимая нагрузка	кг	2000
Ход площадки	мм	50
Габаритные размеры	мм	600x500x66
Масса	кг	30
Стоимость	руб.	120000

Управление люфт-детектором производится дистанционно с помощью пульта управления. При этом предлагается устанавливать платформы люфт-детектора в штатные места 4х стоечного электрогидравлического подъемника BRANN F4D-4, предназначенные для установки поворотных платформ (рис. 5).

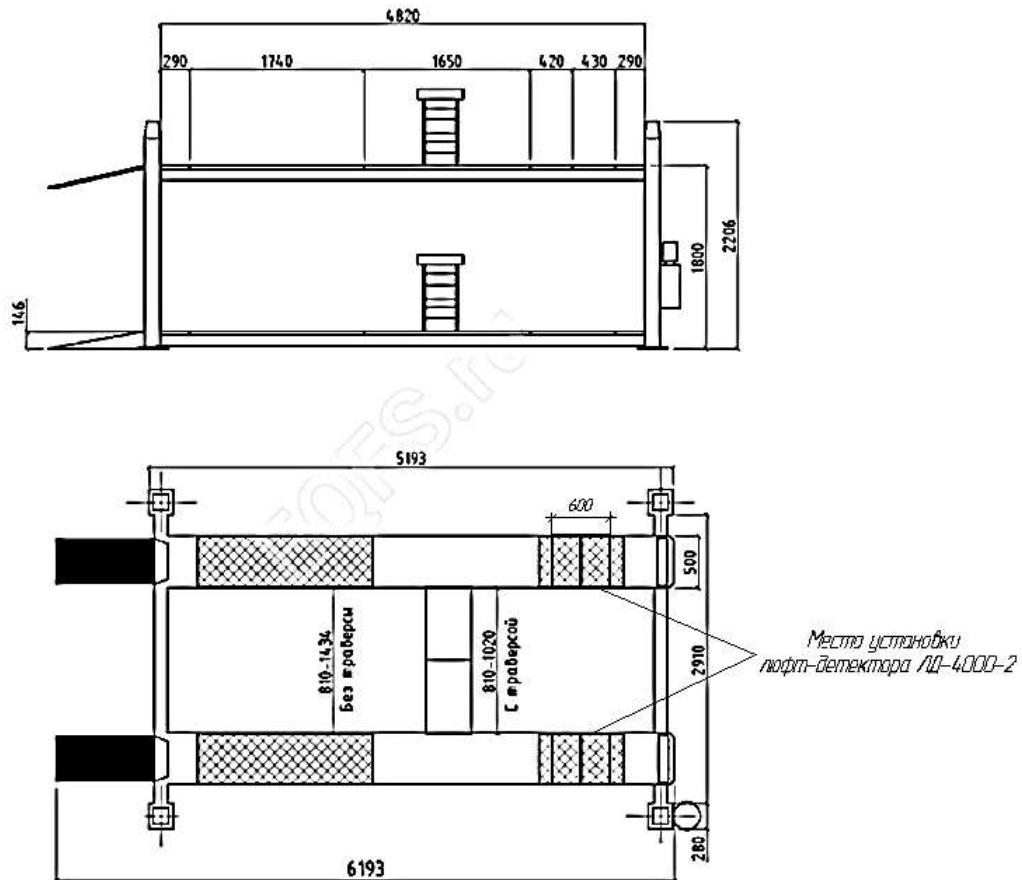


Рисунок 5 – Схема установки люфт-детектора на подъемник

Подъемник BRANN F4D-4 оснащен лазерным стендом для установки углов управляемых колес СКО-1Л [2, 18]. Предлагается устанавливать платформы люфт-детектора на время проведения работ по диагностике ходовой части с последующей заменой платформ люфт-

детектора на поворотные платформы при проведении работ по регулировке углов установки управляемых колес [19]. При этом, автомобиль остается на подъемнике, а во время замены платформ люфт-детектора на поворотные платформы - перекатывается вперед-назад на 30-40 см (длина платформ подъемника 4820 мм, а, например, длина колесной базы автомобиля Ауди А8 – 3122 мм).

Поворотные платформы стенда для установки углов управляемых колес СКО-1Л имеют габаритные размеры (ДхШхВ) 374x385x64 мм, а габаритные размеры (ДхШхВ) люфт-детектора ЛД-4000-2 600x500x66 мм. Как видно, высоты практически совпадают. Кроме того, в передних частях платформ подъемника предусмотрены две пары съемных вставок, габаритные размере которых 430x500 мм и 420x500 мм. Таким образом, при отсутствии обеих съемных вставок на платформе подъемника, образуется установочная площадка габаритными размерами 850x500 мм, что вполне достаточно для установки люфт-детектора ЛД-4000-2.

### **Результаты и обсуждение**

Предлагаемая технология диагностирования ходовой части с применением люфт-детектора ЛД-4000-2, установленного на подъемник, позволяет существенно сэкономить, а также расширить перечень услуг станции технического обслуживания [18-20]. Все это позволит в краткосрочной перспективе увеличить прибыль станции технического обслуживания [1]. Кроме того, за счет предлагаемой технологии диагностирования ходовой части с применением люфт-детектора ЛД-4000-2, установленного на подъемник, повысится уровень качества предоставляемых услуг.

### **Выводы**

Ввиду относительной дешевизны предлагаемого решения по установке люфт-детектора ЛД-4000-2 на подъемник, можно сделать вывод о перспективах предложенной технологии.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Техника транспорта, обслуживание и ремонт: учебное пособие [Электронный ресурс] / А.М. Асхабов, И.М. Блянкинштейн, Е.С. Воеводин и др. - Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2018. - 128 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/84162.html>.
2. Техническая эксплуатация и ремонт автомобильного транспорта: учебное пособие / А.С. Бодров и др. – Орел: ОГУ имени И.С.Тургенева, 2021. – 306 с.
3. Ломакин Д.О., Васильева В.В. Основы конструкции автомобиля: учебное пособие. – Орел: ОГУ имени И.С.Тургенева, 2023. – 154 с.
4. Эксплуатация автомобильного транспорта: учебное пособие [Электронный ресурс] / Н.Н. Якунин, Н.В. Якунина, Д.А. Дрючин и др. - Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2017. - 221 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/71352.html>
5. Федотов А.И. Диагностика автомобиля: учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов». - Иркутск: Иркутский гос. технический ун-т., 2012. – 476 с.
6. D'Elia G., Muccchi E., Cocconcelli M. On the identification of the angular position of gears for the diagnostics of planetary gearboxes // Mechanical systems and signal processing. - V. 83. – 2017. – P. 305-320.
7. Schmidt S., Heyns P.S., J.P. de Villiers. A novelty detection diagnostic methodology for gearboxes operating under fluctuating operating conditions using probabilistic techniques // Mechanical systems and signal processing. – V.100. – 2018. – P. 152-166.
8. Weiguo Huang. Multi-source fidelity sparse representation via convex optimization for gearbox compound fault diagnosis // Journal of Sound and vibration. – V. 496. – 2021. – P. 115879.
9. S. Foulard M., Ichchou M., Rinderknecht S., Perret-Liaudet J. Online and real-time monitoring system for remaining service life estimation of automotive transmissions – application to a manual transmission // Mechatronics. – V. 30. – 2015. – P. 140-157.
10. Chuan Li. Gearbox fault diagnosis based on deep random forest fusion of acoustic and vibratory signals // Mechanical systems and signal processing. – V. 76-77. – 2016. – P. 283-293.
11. Liu Hong, Jaspreet Singh, Dhupia. A time domain approach to diagnose gearbox fault based on measured vibration signals // Journal of Sound and vibration. – V. 333. – 2014. – P. 2164-2180.
12. Gaigai Cai, Xuefeng Chen, Zhengjia He. Sparsity-enabled signal decomposition using tunable Q-factor wavelet transform for fault feature extraction of gearbox // Mechanical systems and signal processing. – V. 41. – 2013. – P. 34-53.
13. Binqiang Chen. Fault feature extraction of gearbox by using overcomplete rational dilation discrete wavelet transform on signals measured from vibration sensors // Mechanical systems and signal processing. – V. 33. – 2012. – P. 275-298.
14. Yaguo Lei, Dong Han, Jing Lin, Zhengjia He. Planetary gearbox fault diagnosis using an adaptive stochastic resonance method // Mechanical systems and signal processing. – V. 38. – 2013. – P. 113-124.
15. Брусенков А.В. и др. Автоматические трансмиссии. – Тамбов: Тамб. гос. техн. ун-т, 2010. – 136 с.
16. James D. Automatic Transmissions and Transaxles, 2017. - Ed. 7th. Pearson Education.
17. Ануриев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. - В 3 т. – 8-е. изд. – М.: Машиностроение, 2001.
18. Степашин В. Схема торOIDального вариатора // Системы современного автомобиля. - 2011. – С. 1.

19. Патент RU 139930, МПК: F16H 15/38 (2006.01). Автоматический торовый вариатор.  
20. Лукьянов А.С. Методы выбора и оценки характеристик вариатора транспортного средства, 2001.

**Ломакин Денис Олегович**

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

**Симушкин Андрей Владиславович**

Орловский государственный университет  
имени И.С.Тургенева  
Адрес: 302026, Россия, г. Орел, ул. Московская, д. 77  
Магистрант  
E-mail: srmostu@mail.ru

**D.O. LOMAKIN, A.V. SIMUSHKIN**

**IMPROVING THE TECHNOLOGY OF DIAGNOSING  
THE CHASSIS OF PASSENGER CARS**

*Abstract. The article describes the technology of diagnostics of the chassis of passenger cars using a modernized stand.*

*Keywords: chassis, diagnostics, backlash detector*

**BIBLIOGRAPHY**

1. Tekhnika transporta, obsluzhivanie i remont: uchebnoe posobie [Elektronnyy resurs] / A.M. Askhabov, I.M. Blyankshteyn, E.S. Voevodin i dr. - Krasnoyarsk: Sibirskiy federal'nyy universitet, 2018. - 128 c. - Rezhim dostupa: <http://www.iprbookshop.ru/84162.html>.
2. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya i remont avtomobil'nogo transporta: uchebnoe posobie / A.S. Bodrov i dr. - Orel: OGU imeni I.S.Turgeneva, 2021. - 306 s.
3. Lomakin D.O., Vasil'eva V.V. Osnovy konstruktsii avtomobilya: uchebnoe posobie. - Orel: OGU imeni I.S.Turgeneva, 2023. - 154 s.
4. Ekspluatatsiya avtomobil'nogo transporta: uchebnoe posobie [Elektronnyy resurs] / N.N. Yakunin, N.V. Yakunina, D.A. Dryuchin i dr. - Orenburg: Orenburgskiy gosudarstvennyy universitet, EBS ASV, 2017. - 221 c. - Rezhim dostupa: <http://www.iprbookshop.ru/71352.html>
5. Fedotov A.I. Diagnostika avtomobilya: uchebnik dlya studentov vuzov, obuchayushchikhsya po napravleniyu podgotovki bakalavrov i magistrov «Ekspluatatsiya transportno-tehnologicheskikh mashin i kompleksov». - Irkutsk: Irkutskiy gos. tekhnicheskiy un-t., 2012. - 476 s.
6. D'Elia G., Mucchi E., Cocconcelli M. On the identification of the angular position of gears for the diagnostics of planetary gearboxes // Mechanical systems and signal processing. - V. 83. - 2017. - P. 305-320.
7. Schmidt S., Heyns P.S., J.P. de Villiers. A novelty detection diagnostic methodology for gearboxes operating under fluctuating operating conditions using probabilistic techniques // Mechanical systems and signal processing. - V.100. - 2018. - P. 152-166.
8. Weiguo Huang. Multi-source fidelity sparse representation via convex optimization for gearbox compound fault diagnosis // Journal of Sound and vibration. - V. 496. - 2021. - R. 115879.
9. S. Foulard M., Ichchou M., Rinderknecht S., Perret-Liaudet J. Online and real-time monitoring system for remaining service life estimation of automotive transmissions - application to a manual transmission // Mechatronics. - V. 30. - 2015. - P. 140-157.
10. Chuan Li. Gearbox fault diagnosis based on deep random forest fusion of acoustic and vibratory signals // Mechanical systems and signal processing. - V. 76-77. - 2016. - P. 283-293.
11. Liu Hong, Jaspreeet Singh, Dhupia. A time domain approach to diagnose gearbox fault based on measured vibration signals // Journal of Sound and vibration. - V. 333. - 2014. - P. 2164-2180.
12. Gaigai Cai, Xuefeng Chen, Zhengjia He. Sparsity-enabled signal decomposition using tunable Q-factor wavelet transform for fault feature extraction of gearbox // Mechanical systems and signal processing. - V. 41. - 2013. - P. 34-53.
13. Binqiang Chen. Fault feature extraction of gearbox by using overcomplete rational dilation discrete wavelet transform on signals measured from vibration sensors // Mechanical systems and signal processing. - V. 33. - 2012. - P. 275-298.
14. Yaguo Lei, Dong Han, Jing Lin, Zhengjia He. Planetary gearbox fault diagnosis using an adaptive stochastic resonance method // Mechanical systems and signal processing. - V. 38. - 2013. - P. 113-124.
15. Brusenkov A.V. i dr. Avtomaticheskie transmissii. - Tambov: Tamb. gos. tekhn. un-t, 2010. - 136 s.
16. James D. Automatic Transmissions and Transaxles, 2017. - Ed. 7th. Pearson Education.
17. Anur'ev V.I. Spravochnik konstruktora-mashinostroyatelya. - V 3 t. - 8-e. izd. - M.: Mashinostroenie, 2001.
18. Stepanishin V. Skhema toroidal'nogo variatora // Sistemy sovremennoego avtomobilya. - 2011. - S. 1.
19. Patent RU 139930, MPK: F16H 15/38 (2006.01). Avtomaticheskiy torovyy variator.
20. Luk'yanov A.S. Metody vybora i otsenki kharakteristik variatora transportnogo sredstva, 2001.

**Lomakin Denis Olegovich**

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

**Simushkin Andrey Vladislavovich**

Oryol State University  
Address: 302026, Russia, Orel, Moskovskaya str., 77  
Master's student  
E-mail: srmostu@mail.ru

Научная статья

УДК 629.3

doi:10.33979/2073-7432-2023-4-2(83)-14-21

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

## РОЛЬ БОЛЬШИХ ДАННЫХ В ЦИФРОВИЗАЦИИ АВТОМОБИЛЬНОЙ ОТРАСЛИ: НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ УДАЛЕННОЙ ДИАГНОСТИКИ АВТОМОБИЛЕЙ

**Аннотация.** Возможность дистанционной диагностики транспортных средств является одной из важных проблем, которая волнует многие крупные транспортные компании по всему миру. На основе проведенного аналитического обзора были рассмотрены разные варианты решений в данной области и предложено свое видение данной проблемы на базе диагностического модуля с беспроводными интерфейсами. Данный диагностический модуль совместно с Yandex Cloud позволяет развернуть облачный сервис, включающий сервер с работающей моделью, обученной на диагностических данных, для осуществления предиктивной диагностики состояния транспортного средства в любой точке его маршрута. Предложенное решение открывает широкие возможности для коммерческой реализации как в отношении «бизнес-клиента», так и «бизнес-бизнес».

**Ключевые слова:** удаленная диагностика транспортных средств, диагностический модуль, автомобильный транспорт, передача данных

### Введение

Удаленная диагностика транспортных средств - продвинутая технология, позволяющая осуществлять мониторинг в реальном времени, производить анализ, формировать отчеты о производительности транспортного средства, его техническом состоянии и параметрах работы удаленно. Со времен создания автомобиля диагностика являлась важным составляющим процесса эксплуатации [1-4]. С развитием автомобильной промышленности, совершенствованием конструкции узлов и агрегатов транспортных средств развивались и методы диагностики: от примитивных ручных инструментов в конце XIX в. до компьютерных систем бортовой диагностики веком позднее. Первые версии бортовой диагностики позволяли лишь считывать диагностические коды ошибок, однако в конце XX - начале XXI в. совершенствование технологий беспроводных коммуникаций и развитие сети Интернет сделали возможным появление технологий удаленной диагностики. Современные технологии удаленной диагностики основаны на телематике, интернете вещей (IoT), машинном обучении для анализа данных, что позволяет не только производить мониторинг в реальном времени, но и также осуществлять предиктивную диагностику, тем самым снижая число отказов, повышая безопасность и улучшая эффективность эксплуатации автомобилей в целом. Перечисленные выше технологии - революционный подход в автомобильной индустрии, позволивший автотранспортным предприятиям, автопроизводителям оптимизировать производительность транспортных средств, улучшить пользовательский опыт эксплуатации автомобиля с минимальными затратами и воздействием на окружающую среду [5-7]. Данные технологии актуальны как для коммерческих и государственных автопарков, так и для обычных автовладельцев. Большие данные (Big Data) - это концептуальное и технологическое явление, описывающее объемы данных, которые настолько огромны, что их обработка и анализ с использованием традиционных методов и инструментов становятся недостаточно эффективными [8]. Большие данные характеризуются высокой скоростью накопления, разнообразием и разносторонностью информации, а также требованием к масштабируемым и распределенным системам обработки. Этот феномен охватывает различные технические области, включая производство, эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт автомобильной техники, где объемы данных стали ключевым источником информации и исследований. Важной характеристикой больших данных является их способность предоставлять новые инсайты и понимание через анализ, что делает их важной основой аналитики.

### **Материал и методы**

Данных, получаемых из системы бортовой диагностики автомобиля, может быть недостаточно, т.к., основываясь лишь на них, невозможно точно определить истинную причину, предпосылки появления неисправности без привязки к внешним условиям, например, состоянию окружающей среды или манере езды водителя. Для получения комплексного набора данных об эксплуатации автомобиля применяют телематические системы. Телематические системы представляют собой комплекс технологий, включающий в себя GPS-навигацию, датчики и средства связи, который используется для сбора и передачи данных о транспортных средствах в реальном времени [9-11]. Объем данных, получаемых через системы телематики, огромен и зависит от количества отслеживаемых параметров и периодичности обновления. Такие системы позволяют отслеживать местоположение и скорость автомобилей, следить за расходом топлива, техническим состоянием, а также поведением водителя: определять стиль вождения, проверять соблюдение правил дорожного движения. Полученные данные могут быть использованы для оптимизации маршрутов, улучшения безопасности на дорогах, а также для проведения профилактического обслуживания и предотвращения аварийных ситуаций: телематические системы играют ключевую роль в улучшении эффективности и безопасности транспортных средств и способствуют более эффективному управлению автопарками и логистическими процессами автотранспортных предприятий.

Автомобильная телематика полагается на множество источников данных, которые в совокупности представляют значительный объем информации о состоянии и эксплуатации автотранспортных средств. Одним из простых примеров такого взаимодействия может являться система управления двигателем, которая обычно состоит из различных датчиков для мониторинга условий эксплуатации оборудования в режиме реального времени [12-15]. В данном случае управляющий сигнал, посыпаемый на различные исполнительные механизмы, осуществляется с помощью средств системы управления, состоящей из большого количества модулей управления (контуров управления) в его архитектуре. Принципиальным компонентом в этой системе являются глобальные навигационные спутниковые системы (GPS), передающие данные о геопозиции транспортных средств: их местонахождение, перемещение. Датчики, встроенные в автомобили, собирают разнообразные параметры, включая информацию о температуре, давлении в шинах, уровне топлива, скорости и оборотах двигателя. Этот спектр данных, полученных от датчиков, обеспечивает не только мониторинг технического состояния автомобиля, но также предоставляет возможности для раннего обнаружения и предотвращения потенциальных сбоев и аварийных ситуаций. Дополнительные источники данных охватывают информацию о водителе и его поведении, включая выходы из системы управления двигателем, которые отражают стиль вождения, параметры скорости, уровень топливопотребления и соблюдение правил дорожного движения [16-18].

### **Теория**

В области удаленной диагностики автомобилей, протоколы коммуникации и сети играют фундаментальную роль, обеспечивая эффективный обмен информацией между автомобилями и центральными серверами или системами управления. Одним из наиболее распространенных протоколов в данной сфере является OBD-II (On-Board Diagnostics II), который позволяет считывать диагностические данные, такие как коды ошибок и параметры работы двигателя, через стандартизованный интерфейс, доступный в большинстве современных автомобилей. Кроме того, для передачи данных используются беспроводные технологии, включая сети третьего и четвертого поколений, и более новые стандарты, что обеспечивает надежное и высокоскоростное соединение между автомобилем и сервером удаленной диагностики. С развитием Интернета вещей (IoT) и мобильных сетей пятого поколения, возможности сетей для удаленной диагностики значительно расширяются, позволяя собирать больше данных в реальном времени и предоставлять более точные и актуальные результаты аналитики.

Другой важной особенностью является безопасность передачи данных, поскольку в диагностических данных автомобиля могут содержаться конфиденциальные и личные сведе-

ния. Защита от несанкционированного доступа путем внедрения механизмов аутентификации становятся неотъемлемой частью систем удаленной диагностики (табл. 1).

Таблица 1 - Угрозы безопасности при подключении OBD-II

Техника атаки	Описание
Инъекция CAN	Внедрение CAN сообщений для проведения опасных операций
Взлом OBD-II устройства	Злоумышленники могут получить доступ к ключевым системам автомобиля
Использование уязвимостей Bluetooth	Злоумышленники могут подключиться к OBD-II устройству по Bluetooth в момент, когда устройство пользователя не подключено
Утечка персональных данных	Злоумышленники могут использовать OBD-II устройство для атаки на мобильное устройство пользователя
Отслеживание	Злоумышленники могут незаконно получать информацию об автомобиле и отслеживать ее

Современная система удаленной диагностики впервые описана в бюллетене SAE в 2005 г. [19]. Ее структура и функциональное назначение компонентов остаются неизменными и сегодня, также стала возможной автоматизация некоторых процессов за счет применения современных компьютерных технологий. Например, в бюллетене описан [20] способ обработки полученных от автомобиля данных с использованием аналитического центра, в котором оператор вручную обрабатывал бы каждое полученное сообщение о неисправности, либо анализировал полученные данные для выводов о техническом состоянии автомобиля и возможных поломках. Таким образом, ключевым звеном системы выступает человек. С увеличением объема данных такая концепция становится невозможной.

Возможная структурная схема сервиса удаленной диагностики представлена на рисунке 1. Она подразумевает установку дополнительных IoT датчиков на узлы и агрегаты автомобиля, что в совокупности с системой бортовой диагностики образует диагностическую сеть, которая соединена с облачным сервисом посредством сети Интернет. Облачный сервис выполняет функции сбора, хранения, аналитики диагностических данных, агрегации услуг предприятий автомобильного сервиса, коммуникации с провайдерами услуг, менеджмента пользовательских профилей, истории обслуживания и т.п. Пользователь может получить доступ к сервису посредством любого устройства с доступом в Интернет.



Рисунок 1 – Структурная схема сервиса удаленной диагностики

Система удаленной диагностики в данной концепции является лишь элементом комплексной системы. Возможности удаленной диагностики с учетом применения современных

технологий представлены на рисунке 2.



Рисунок 2 – Возможности системы удаленной диагностики

Современные технологии позволяют работать с большими данными, генерируемыми автомобилем и диагностическими устройствами, подключенными к его узлам и агрегатам. Вычислительные мощности облачных серверов дают возможность осуществлять ресурсоемкие вычисления, обеспечивая высокую скорость работы и постоянный доступ пользователей к системе. Это открывает возможности для создания доступных для конечного пользователя решений для удаленной диагностики транспортных средств [21-23].

#### *Результаты и обсуждение*

Для обеспечения, описанного выше подхода к предиктивной диагностике, основанного на больших объемах данных, необходимо в первую очередь обеспечить сбор данных в достаточном объеме, их передачу, обработку, хранение и последующий анализ.

Данные, получаемые из системы бортовой диагностики автомобиля, могут быть недостаточными для осуществления предиктивной диагностики с помощью технологий машинного и глубокого обучения. В зависимости от конкретной модели автомобиля, такой набор данных может включать текущие параметры работы систем двигателя, тормозной системы, сохраненные в памяти диагностические коды ошибок и т.п.

Расширить объем собираемых данных возможно с использованием программно-аппаратных средств - диагностических модулей с подключенными датчиками.

В качестве программно-аппаратного средства предлагается диагностический модуль с микроконтроллером на базе Tensilica Xtensa LX6 с беспроводными интерфейсами как наиболее доступное на рынке решение. Каждое устройство имеет возможность подключения к беспроводной сети WLAN, таким образом создавая диагностическую сеть из таких устройств. Базовая сеть состоит из соединенного с описанным выше устройством диагностического CAN-адаптера, подключаемого в диагностический разъем системы бортовой диагностики автомобиля. Предложенный микроконтроллер позволяет осуществлять передачу данных по UART на максимальной скорости до 4 Мбит/с., в то время как максимальная скорость CAN (ISO 118898-2) - 1 Мбит/с., а по низкоскоростному каналу (ISO 11898-3) - 125 Кбит/с. Соответственно, использование конкретного типа микроконтроллера обусловлено также возможностью работать с CAN на полной скорости. Предложенный микроконтроллер

## №4-2(83) 2023 Эксплуатация, ремонт, восстановление

позволяет работать с большинством доступных на рынке датчиков, делая возможным адаптацию диагностической сети для решения разнообразных задач диагностики. Схема предложенного решения представлена на рисунке 3.

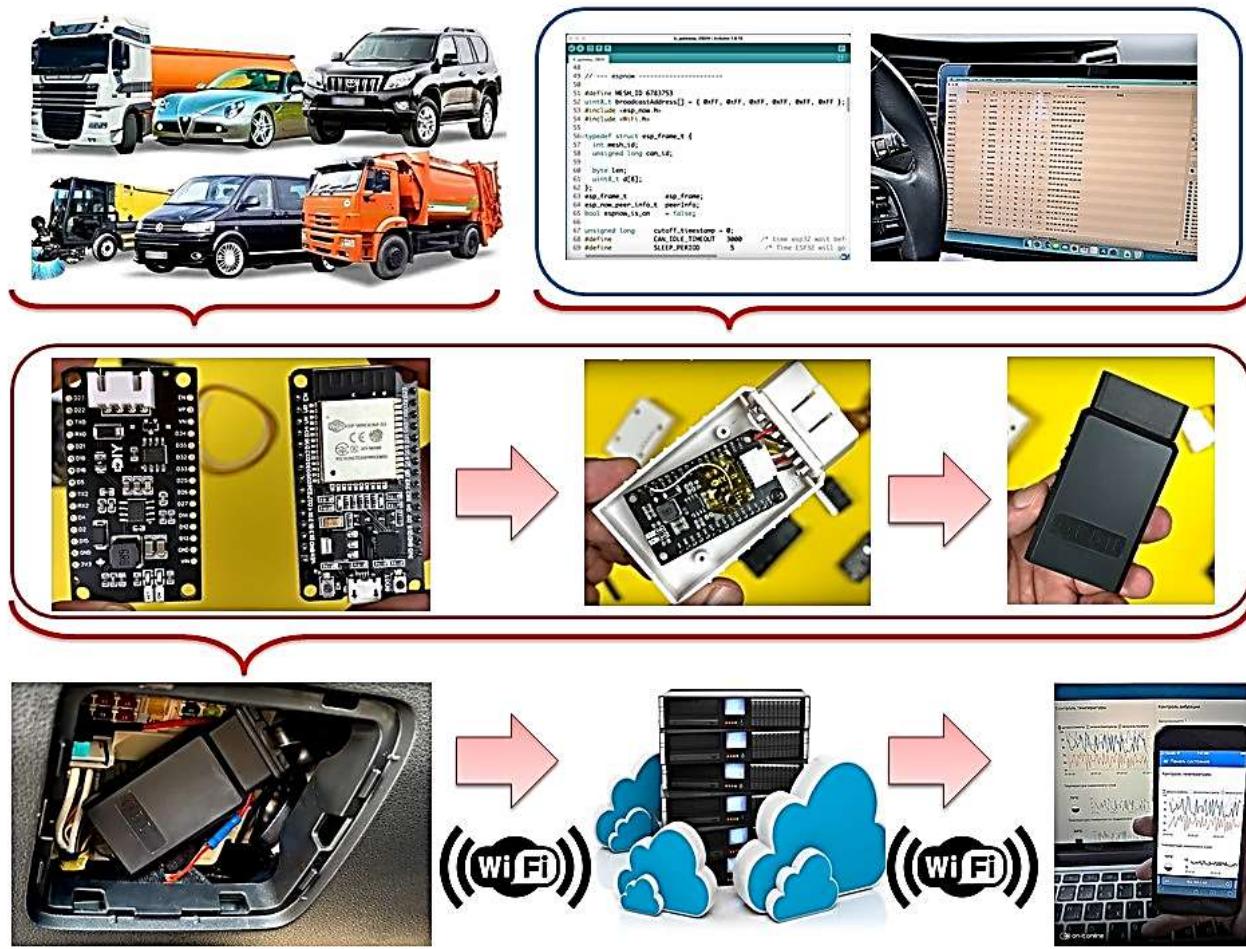


Рисунок 3 – Возможности дистанционного мониторинга систем автомобиля с помощью программно-аппаратного средства на базе Tensilica Xtensa LX6 с беспроводными интерфейсами

Простейшая реализация головного устройства диагностической сети - мобильное устройство со специальным программным обеспечением. Мобильное устройство создает WLAN точку доступа, к которой подключаются диагностические модули, а также обеспечивает доступ в Интернет для приема и передачи данных с удаленного сервера. Также установленное на мобильном устройстве программное обеспечение позволяет собирать дополнительные данные, включающие данные телеметрии, данные об использовании мобильного устройства. Предоставить необходимые вычислительные мощности, хранилище и сетевую инфраструктуру может практически любой провайдер облачной инфраструктуры. Реализация предложенного решения в условиях российского рынка значительно ограничивает выбор провайдеров, делая Yandex Cloud, крупнейшего облачного провайдера в России, наиболее подходящим выбором.

### Выходы

На основе проведенного аналитического обзора были рассмотрены и предложены следующие решения в сфере дистанционной диагностики транспортных средств:

- диагностический модуль с микроконтроллером на базе Tensilica Xtensa LX6 с беспроводными интерфейсами является перспективным решением для обеспечения дистанционной диагностики транспортных средств;
- Yandex Cloud позволяет развернуть облачный сервис, включающий сервер с работающей моделью, обученной на диагностических данных, для осуществления предиктивной

диагностики; сервер, обеспечивающий работу пользовательского интерфейса, прием и передачу данных; базу данных получаемой диагностики. Подобное решение позволит минимизировать нагрузку на клиентские устройства благодаря централизации вычислений, что сделает сервис доступным для широкого круга пользователей;

- предложенное решение открывает широкие возможности для коммерческой реализации как в отношении «бизнес-клиент», так и «бизнес-бизнес».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jiang X.X., Song Q.Y., Wang H.E., Du G.F., Guo J.F., Shen C.Q., Zhu Z.K. Central frequency mode decomposition and its applications to the fault diagnosis of rotating machines, *Mech. Mach. Theory* 174, 2022, 104919.
2. Ren S., Zhang Y., Liu Y., Sakao T., Huisingsh D., Almeida C.M.V.B. A comprehensive review of big data analytics throughout product lifecycle to support sustainable smart manufacturing // A framework, challenges and future research directions. – 210. – 2019. – P. 1343-1365.
3. Wang J., Ye L., Gao R.X., Li C., Zhang L. Digital twin for rotating machinery fault diagnosis in smart manufacturing // *Int. J. Prod. Res.* - №57 (12). – 2019. – P. 3920-3934.
4. Chen H.G., Xu M.Y., Fu C.Z., Song R.J., Li Z. Mechanical fault diagnosis of gis based on mfccs of sound signals // 5th Asia Conference on Power and Electrical Engineering (ACPEE). – China. – 2020. - P. 1487-1491.
5. Vununu C., Kwon K.R., Lee E.J., Moon K.S., Lee S.H. Automatic fault diagnosis of drills using artificial neural networks // 16th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA). – Mexico. – 2017. - P. 992-995.
6. Tran T., Lundgren J. Drill fault diagnosis based on the scalogram and mel spectrogram of sound signals using artificial intelligence // *Access* 8. – 2020. – P. 203655-203666.
7. Nacchia M., Fruggiero F., Lambiase A., Bruton K. A systematic mapping of the advancing use of machine learning techniques for predictive maintenance in the manufacturing sector. - 11. – 2021. - 2546.
8. Sagiroglu S., Sinanc D. Big data: A review [Электронный ресурс] / 2013 international conference on collaboration technologies and systems (CTS). – 2013. - P. 42-47. - Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6567202>
9. Duri S., Gruteser M., Liu X., Moskowitz P., Perez R., Singh M., Tang J.M. Framework for security and privacy in automotive telematics [Электронный ресурс] / Proceedings of the 2nd international workshop on Mobile commerce. – 2002. – P. 25-32. - Режим доступа: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/570705.570711>
10. Masoud Aliramezani, Charles Robert Koch, Mahdi Shahbakhti. Modeling, diagnostics, optimization, and control of internal combustion engines via modern machine learning techniques // A review and future directions. *Progress in Energy and Combustion Science*. – Vol. 88. – 2022. – 100967.
11. Fei Li, Tan Yigitcanlar, Madhav Nepal, Kien Nguyen, Fatih Dur. Machine learning and remote sensing integration for leveraging urban sustainability // A review and framework. *Sustainable Cities and Society*. – Vol. 96. – 2023. – 104653.
12. Andreas G., Torsten G. A new approach for a multi-fuel, torque based ECU concept using automatic code generation // *SAE technical paper*. - №2001. - 01-0267.
13. Guenther D.W., Gerhardt J. MOTRONIC-torque guided engine management systems to meet future challenges in emissions and fuel consumption reduction. *SAE technical paper*. – 2020. - № 20 0 0-01-1420.
14. Guzzella L, Onder C. H. *Introduction to modeling and control of internal combustion engine systems* (2nd ed.). Springer, 2010.
15. Hammel C., Jessen B., Andreas C.T., Harald H. A common software architecture for diesel and gasoline engine control systems of the new generation EDC/ME (D) 17 // *SAE technical paper*. - 2003. - № 2003-01-1048.
16. Hillion M., Chauvin J., Petit N. Open-loop combustion timing control of a spark-ignited engine // In IEEE conference on decision and control. - 2008.
17. Isermann R. Model-based fault-detection and diagnosis-Status and applications // *Annual Reviews in Control*. - №29. - 2005. – P. 71-85.
18. Isermann R. *Engine modeling and control-Modeling and electronic management of internal combustion engines*. Springer Verlag. - 2014.
19. Mandal A.K., Panarotto F., Cortesi A., Ferrara P., Spoto, F. Static analysis of Android Auto infotainment and on-board diagnostics II apps [Электронный ресурс] / *Software: Practice and Experience*. - 49(7). - 2019. - P. 1131-1161. - Режим доступа: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/spe.2698>
20. You S., Krage M., Jalics L. Overview of remote diagnosis and maintenance for automotive systems [Электронный ресурс] / *SAE Technical Paper*. - № 2005-01-1428. - 2005. - Режим доступа: <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2005-01-1428/>
21. Ashok B., Denis S., Ashok C. Ramesh Kumar. A review on control system architecture of a SI engine management system. *Annual Reviews in Control*, 2016.
22. Portniagin E.M., Ivasinkova A.A., Svirbutovich O.A., Gorban A.V., Gorban N.A. Analysis of the headlights checking parameters // *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* - 632 (1). – 2019. - 012031.

23. Rucco R., Sorriso A., Liparoti M., Ferraioli G., Sorrentino P., Ambrosanio M., Baselice F. Type and Location of Wearable Sensors for Monitoring Falls during Static and Dynamic Tasks in Healthy Elderly [Электронный ресурс] / A Review, Sensors. - 18 (5). – 2018. – 1613. – Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/s18051613>.

**Родичев Алексей Юрьевич**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

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

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

E-mail: rodfox@yandex.ru

**Иванов Олег Анатольевич**

Национальный исследовательский университет ИТМО

Адрес: 197101, Россия, г. Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49, лит. А.

Студент

E-mail: testinbox123@mail.ru

**Родичева Ирина Владимировна,**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

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

Аспирант

E-mail: srmostu@mail.ru

**Васильев Кирилл Владимирович,**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

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

Студент

E-mail: gm.vasiljev485@gmail.com

---

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

## THE ROLE OF BIG DATA IN THE DIGITALIZATION OF THE AUTOMOTIVE INDUSTRY: NEW OPPORTUNITIES FOR REMOTE VEHICLE DIAGNOSTICS

*Abstract. The ability to remotely diagnose vehicles is one of the important issues that worries many large transport companies around the world. Based on the analytical review, various solutions in this area were considered and our vision of this problem was proposed based on a diagnostic module with wireless interfaces. This diagnostic module, together with Yandex Cloud, allows you to deploy a cloud service that includes a server with a working model trained on diagnostic data to carry out predictive diagnostics of the vehicle's condition at any point along its route. The proposed solution opens up broad opportunities for commercial implementation in both business-to-customer and business-to-business relationships.*

*Keywords: remote vehicle diagnostics, diagnostic module, automobile transport, data transmission*

## BIBLIOGRAPHY

1. Jiang X.X., Song Q.Y., Wang H.E., Du G.F., Guo J.F., Shen C.Q., Zhu Z.K. Central frequency mode decom-position and its applications to the fault diagnosis of rotating machines, *Mech. Mach. Theory* 174, 2022, 104919.
2. Ren S., Zhang Y., Liu Y., Sakao T., Huisingsh D., Almeida C.M.V.B. A comprehensive review of big data analytics throughout product lifecycle to support sustainable smart manufacturing // A framework, challenges and future research directions. - 210. - 2019. - R. 1343-1365.
3. Wang J., Ye L., Gao R.X., Li C., Zhang L. Digital twin for rotating machinery fault diagnosis in smart manu-facturing // *Int. J. Prod. Res.* - №57 (12). - 2019. - R. 3920-3934.
4. Chen H.G., Xu M.Y., Fu C.Z., Song R.J., Li Z. Mechanical fault diagnosis of gis based on mfccs of sound signals // 5th Asia Conference on Power and Electrical Engineering (ACPEE). - China. - 2020. - R. 1487-1491.
5. Vununu C., Kwon K.R., Lee E.J., Moon K.S., Lee S.H. Automatic fault diagnosis of drills using artificial neu-ral networks // 16th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA). - Mexico. -

2017. - R. 992-995.

6. Tran T., Lundgren J. Drill fault diagnosis based on the scalogram and mel spectrogram of sound signals using artificial intelligence // Access 8. - 2020. - R. 203655-203666.
7. Nacchia M., Fruggiero F., Lambiase A., Bruton K. A systematic mapping of the advancing use of machine learning techniques for predictive maintenance in the manufacturing sector. - 11. - 2021. - 2546.
8. Sagiroglu S., Sinanc D. Big data: A review [Elektronnyy resurs] / 2013 international conference on collaboration technologies and systems (CTS). - 2013. - R. 42-47. - Rezhim dostupa: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6567202>
9. Duri S., Gruteser M., Liu X., Moskowitz P., Perez R., Singh M., Tang J.M. Framework for security and privacy in automotive telematics [Elektronnyy resurs] / Proceedings of the 2nd international workshop on Mobile commerce. - 2002. - R. 25-32. - Rezhim dostupa: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/570705.570711>
10. Masoud Aliramezani, Charles Robert Koch, Mahdi Shahbakhti. Modeling, diagnostics, optimization, and control of internal combustion engines via modern machine learning techniques // A review and future directions. Progress in Energy and Combustion Science. - Vol. 88. - 2022. - 100967.
11. Fei Li, Tan Yigitcanlar, Madhav Nepal, Kien Nguyen, Fatih Dur. Machine learning and remote sensing integration for leveraging urban sustainability // A review and framework. Sustainable Cities and Society. - Vol. 96. - 2023. - 104653.
12. Andreas G., Torsten G. A new approach for a multi-fuel, torque based ECU concept using automatic code generation // SAE technical paper. - №2001. - 01-0267.
13. Guenther D.W., Gerhardt J. MOTRONIC-torque guided engine management systems to meet future challenges in emissions and fuel consumption reduction. SAE technical paper. - 2020. - № 20 0 0-01-1420.
14. Guzzella L, Onder C. H. Introduction to modeling and control of internal combustion engine systems (2nd ed.). Springer, 2010.
15. Hammel C., Jessen B., Andreas C.T., Harald H. A common software architecture for diesel and gasoline engine control systems of the new generation EDC/ME (D) 17 // SAE technical paper. - 2003. - № 2003-01-1048.
16. Hillion M., Chauvin J., Petit N. Open-loop combustion timing control of a spark-ignited engine // In IEEE conference on decision and control. - 2008.
17. Isermann R. Model-based fault-detection and diagnosis-Status and applications // Annual Reviews in Control. - №29. - 2005. - R. 71-85.
18. Isermann R. Engine modeling and control-Modeling and electronic management of internal combustion engines. Springer Verlag. - 2014.
19. Mandal A.K., Panarotto F., Cortesi A., Ferrara P., Spoto, F. Static analysis of Android Auto infotainment and on?board diagnostics II apps [Elektronnyy resurs] / Software: Practice and Experience. - 49(7). - 2019. - R. 1131-1161. - Rezhim dostupa: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/spe.2698>
20. You S., Krage M., Jalics L. Overview of remote diagnosis and maintenance for automotive systems [Elektronnyy resurs] / SAE Technical Paper. - № 2005-01-1428. - 2005. - Rezhim dostupa: <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2005-01-1428/>
21. Ashok B., Denis S., Ashok C. Ramesh Kumar. A review on control system architecture of a SI engine management system. Annual Reviews in Control, 2016.
22. Portniagin E.M., Ivasinkova A.A., Svirbutovich O.A., Gorban A.V., Gorban N.A. Analysis of the headlights checking parameters // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. - 632 (1). - 2019. - 012031.
23. Rucco R., Sorriso A., Liparoti M., Ferraioli G., Sorrentino P., Ambrosanio M., Baselice F. Type and Location of Wearable Sensors for Monitoring Falls during Static and Dynamic Tasks in Healthy Elderly [Elektronnyy resurs] / A Review, Sensors. - 18 (5). - 2018. - 1613. - Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.3390/s18051613>.

**Rodichev Alekse Yrievich**

Orel State University

Adress: 302026, Russia, Orel, Moskovskaya str., 77

E-mail: rodfox@yandex.ru

**Ivanov Oleg Anatolievich**

National Research University ITMO

Address: 197101, Russia, St. Petersburg, Kronverksky pr.

Student

E-mail: testinbox123@mail.ru

**Rodicheva Irina Vladimirovna**

Orel State University

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

Postgraduate student

E-mail: srmostu@mail.ru

**Vasiliev Kirill Vladimirovich,**

Orel State University

Adress: 302026, Russia, Orel, Moskovskaya str., 77

E-mail: gm.vasiljev485@gmail.com

Научная статья

УДК 621.839.7

doi:10.33979/2073-7432-2023-4-2(83)-22-28

Р.Н. ПОЛЯКОВ, А.А. РЕВКОВ

## ТОРОИДАЛЬНЫЙ ВАРИАТОР С ФУНКЦИЕЙ АКТИВНОГО ИЗМЕНЕНИЯ ПРИЖИМНОГО УСИЛИЯ

**Аннотация.** В статье описаны результаты анализа автоматических коробок переключения передач (АКПП) применяемых в автомобилестроении, предложен альтернативный вариант автоматической коробки переключения передач на базе вариатора тороидального типа, приведены преимущества, а также предложение по усовершенствованию данного вида автоматической трансмиссии с целью повышения уровня ресурсной и несущей способности данного вида АКПП путем изменения усилий прижатия рабочих органов в критических режимах. Предложенная конструкция тороидального вариатора позволит решить проблемы с надежностью вариаторов, расширит возможности применения вариаторов с более мощными двигателями при снижении расходов на техническое обслуживание, что позволит применять данную конструкцию в серийных автомобилях.

**Ключевые слова:** автоматическая коробка переключения передач, фрикционные передачи, вариатор, тороидальный вариатор, CVT, автомобилестроение, надежность вариаторов

### Введение

Широкое применение автоматических коробок передач в легковых, а также в грузовых автомобилях спровоцировало большой интерес к усовершенствованию данного вида АКПП. Безусловно, самым популярным типом автоматической трансмиссии является традиционный гидротрансформаторный автомат, но помимо него существуют трансмиссии с роботизированными АКПП и вариаторами (CVT), которые имеют свои преимущества, благодаря чему и завоевали свою долю рынка в автомобильной промышленности [1, 2, 4, 5].

### Материал и методы

Согласно источнику [6] доля автомобилей с традиционным АКПП преобладает среди других видов трансмиссий в следующих пропорциях:

Механическая коробка передач – 39 %

Автоматическая (с гидротрансформатором) – 41 %

Автоматическая (роботизированная) – 5 %

Автоматическая (вариатор) – 9 %

Иное – 6 %

В последние годы автоматические вариаторы стали встречаться все чаще на серийных автомобилях, особенно японского производства.

Ряд преимуществ как плавность хода, автоматическое изменение передаточного отношения, интенсивный разгон, отсутствие рывков и т.д. отличают данный вид АКПП среди других более комфортным управлением для водителя, особенно в городском режиме езды. Отдельно стоит отметить способность изменять передаточное отношение позволяя двигателю поддерживать обороты, при которых достигается максимальный крутящий момент, что способствует более быстрому разгону и торможению с помощью двигателя.

Автоматическая коробка переключения передач на базе вариатора, также называемая CVT (Continuously Variable Transmission), как изобретение было запатентовано в XVIII веке, но применять её стали с 60-х годах XX века. Сначала CVT использовали в маломощной технике, например с электрогенераторами, в бензопилах, различных станках. Затем клиноременной вариатор стали устанавливать на легковые автомобили и первыми, кто установил данную АКПП была компания DAF. После этого Volvo некоторое время устанавливала на свои автомобили вариатор, но позже отказалась от данной трансмиссии. Начиная с 1980 года CVT можно было встретить на автомобилях таких марок как Ford, Subaru, Fiat, и благодаря

Subaru конструкция вариатора была усовершенствована путем использования вместо эластичного ремня, металлический толкающий.

Клинеременной и клиноцепной типы вариатора, устанавливаемые в современных автомобилях, имеют определенные ограничения по перегрузкам и передаваемому крутящему моменту, что сводит к минимуму возможности установки их на автомобили с мощным двигателем. В вопросах расширения такой возможности и развития фрикционного типа АКПП в автомобилестроении, а также увеличения ресурса работы CVT выбор падает на вариатор тороидального типа [7, 8]. Помимо основных преимуществ CVT вариаторы тороидального типа отличаются меньшими массогабаритами, чем другие АКПП, но способны передавать больший крутящий момент, чем клинеременные и клиноцепные CVT. Однако, также есть ряд недостатков, которые и не вывели данный тип АКПП в серийное производство. Дело в том, что принцип работы тороидального вариатора предполагает создание очень высоких прижимных усилий на твёрдых поверхностях контакта переменной кривизны, что приводит к возникновению критических контактных напряжений. Кроме того, такие контактные напряжения еще более пагубно сказываются на элементах вариатора при переходном режиме работы узла, в момент изменения передаточного отношения.

В тороидальном вариаторе необходимо создавать такое прижимное усилие между трущимися поверхностями, которое способно будет передать необходимый крутящий момент, при этом сила трения не должна приводить к износу контактируемых поверхностей между ведущим и ведомым дисками, в большей мере при переходном режиме работы.

Проанализировав историю создания тороидального вариатора и практику его внедрения в автомобили, был определен главный недостаток конструкции, который заключался в стремительном износе рабочих поверхностей при режиме смены передаточного отношения. Исключить данный недостаток из конструкции поможет создание системы адаптивного изменения усилия прижатия рабочих элементов в зависимости от режима работы. Определяется два режима работы: статичный режим, когда углы наклона промежуточных дисков вариатора не меняют своего положения, и динамический режим, когда промежуточный диск меняет свое положение, изменяя передаточное отношение вариатора.

Ниже описана конструкция такой системы, позволяющей менять усилие прижатия рабочих элементов.

Как уже было сказано выше, определено два режима работы, при которых для передачи требуемого крутящего момента нужно создать требуемое усилие прижатия рабочих поверхностей, а также при необходимости нужно ослабить это усилие для уменьшения критических напряжений.

Схема тороидального вариатора и его узлов представлена на рисунке 1.

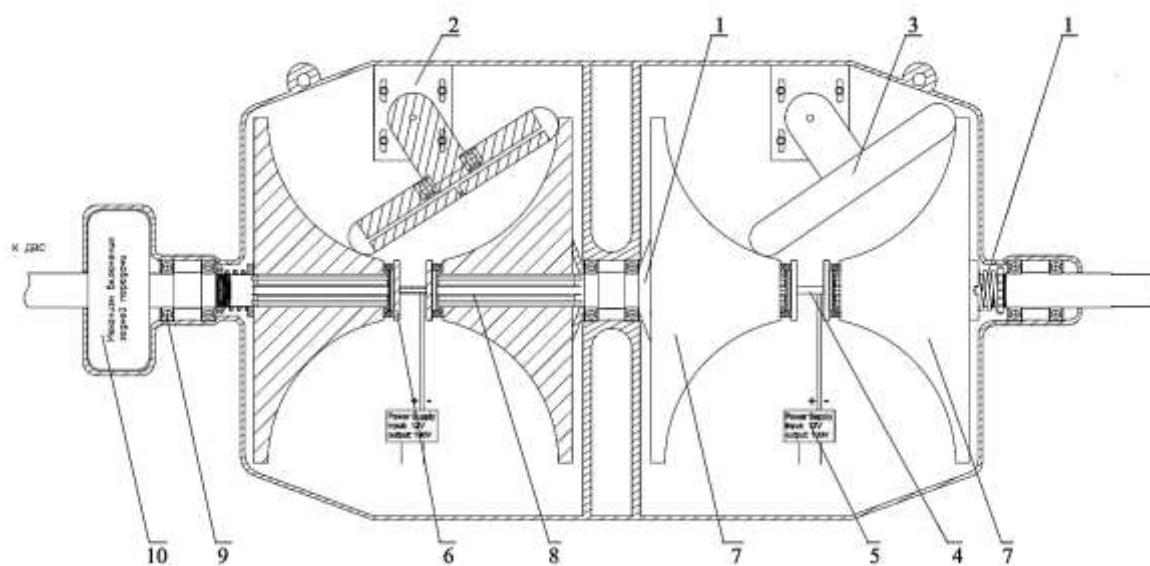


Рисунок 1 – Чертёж тороидального двухступенчатого вариатора

Тороидальный вариатор (рис. 1) работает следующим образом:

Для создания необходимого усилия прижатия рабочих поверхностей используются пружины (1) необходимого параметра. Для ослабления силы прижатия и изменения шаговыми двигателями (2) угла наклона промежуточных дисков (3), т.е. при необходимости изменить передаточное отношение, применяется пьезоактуатор (4), который приводится в действие источником питания постоянного тока (5). Пьезоактуатор, упираясь в упорные подшипники (6), расположен между тороидальными (ведущим и ведомым) дисками (7), тем самым раздвигая их относительно друг друга по оси, преодолевая усилие, создаваемое пружинами. Сами тороидальные диски расположены на валах со шлицами (8), линейно перемещаясь на требуемый диапазон. Валы расположены на подшипниках (9). Для реализации передачи заднего используется механизм передачи заднего хода, применяемый в клиноцепных вариаторах, например в вариаторе Multitronic от Audi (10).

Двухступенчатая конструкция тороидального вариатора выбрана на основании расчетов. Проводились расчеты разных компоновок конструкции для грузового автомобиля ГАЗ-2217 «Соболь» с двигателем УМЗ-42160 мощностью 106,8 л.с. и развивающий 220,5 Н·м крутящего момента. Расчеты проводились для компоновок с дисками разного диаметра, для компоновок с одной ступенью, с двумя ступенями, с одним и тремя промежуточными дисками в каждой ступени.

Для грузового автомобиля ГАЗ-2217 «Соболь», имеющего полную массу 2800 кг с тяговой характеристикой 287 Н·м, самым оптимальным вариантом компоновки является двухступенчатый тороидальный вариатор с тремя промежуточными дисками, расположенными под углом 120 градусов в каждой ступени (рис. 2). Данная компоновка предполагает увеличение осевого габарита, что приемлемо для общей компоновки трансмиссии и позволяет передавать требуемый крутящий момент с максимальной величиной равной 436,7 Н·м.

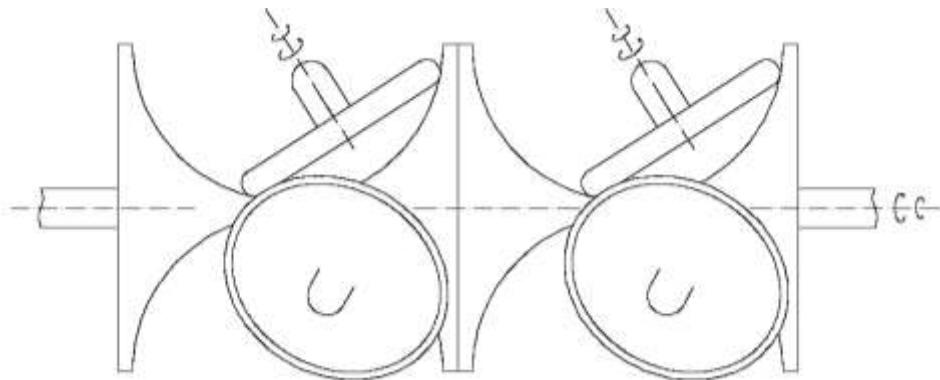


Рисунок 2 – Тороидальный двухступенчатый вариатор с тремя промежуточными дисками в каждой ступени

### Расчет

Расчеты имеют вид:

Определим максимальный крутящий момент выходного вала  $T_2$  вычисляется по формуле:

$$T_2 = F_f \cdot R_{2max}, \quad (1)$$

где  $F_f$  – сила трения промежуточного и ведомого диска;

$R_{2max}$  – максимальный радиус ведомого диска.

Найдем силу трения  $F_f$  промежуточного и ведомого диска по формуле:

$$F_f = P \cdot A_k \cdot f, \quad (2)$$

где  $P$  – давление, создаваемое в мембране;

$A_k$  – площадь контакта между промежуточным и ведомым диском ( $0,003616 \text{ м}^2$ );

$f$  – коэффициент трения между резиной и сталью (0,6).

$$F_f = 200000 \cdot 0,003616 \cdot 0,6 = 433,92 (\text{Н});$$

$$T_2 = 433,92 \cdot 0,2481 = 107,7 \text{ (Н} \cdot \text{м}).$$

Определим максимальный крутящий момент выходного вала  $T_3$ :

$$T_3 = T_2 \cdot U_{2-3}, \quad (3)$$

где  $T_2$  – максимальный крутящий момент выходного вала;

$U_{2-3}$  – наибольшее передаточное отношение (4,05).

$$T_3 = 107,7 \cdot 4,05 = 436,7 \text{ (Н} \cdot \text{м}).$$

Рассчитаем контактные напряжения, возникающие между мембраной промежуточного диска и торOIDальным диском по формуле:

$$\sigma_H = 0,418 \sqrt{\frac{F_r \cdot E}{b \cdot R}}, \quad (4)$$

где  $F_r$  – усилие прижатия;

$E$  – приведенный модуль упругости;

$b$  – длина контактных линий;

$R$  – приведенный радиус кривизны.

Найдем усилие прижатия  $F_r$  по формуле:

$$F_r = \frac{F_f}{f}, \quad (5)$$

где  $F_f$  – сила трения;

$f$  – коэффициент трения между резиной и сталью (0,6).

$$F_r = \frac{433,92}{0,6} = 723,2 \text{ (Н)}.$$

Найдем приведенный модуль упругости по формуле:

$$E = \frac{2 \cdot E_1 \cdot E_2}{E_1 + E_2}, \quad (6)$$

где  $E_1$  – модуль упругости стали;

$E_2$  – модуль упругости резины.

$$E = \frac{2 \cdot 21 \cdot 10^{10} \cdot 5 \cdot 10^6}{21 \cdot 10^{10} + 5 \cdot 10^6} = 9999761,91 \text{ (Па)}.$$

Найдем приведенный радиус кривизны по формуле:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_{11}} + \frac{1}{R_{1II}} + \frac{1}{R_{2I}} + \frac{1}{R_{2II}}, \quad (7)$$

где  $R_{11}$  – радиус промежуточного диска в первой плоскости;

$R_{1II}$  – радиус промежуточного диска во второй плоскости;

$R_{2I}$  – радиус торOIDального диска в первой плоскости;

$R_{2II}$  – радиус торOIDального диска во второй плоскости.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{26} + \frac{1}{177,8} + \frac{1}{213} + \frac{1}{130} = 0,059338 \text{ (мм)};$$

$$R = \frac{1}{0,059338} = 16,85271 \text{ (мм)}.$$

Подставляем полученные значения:

$$\sigma_H = 0,418 \sqrt{\frac{723,2 \cdot 9999761,91}{0,0324 \cdot 0,01685}} = 1,52 \text{ (МПа)}.$$

Проведем аналогичные расчеты для схожей конструкции торOIDального вариатора, но с использованием существующих принципов передачи крутящего момента, где в качестве контактирующих материалов выступает сталь, например, как торOIDальный вариатор фирмы Torotrack [8].

Найдем силу трения  $F_f$  промежуточного и ведомого диска по формуле.

$$F_f = F_r \cdot f, \quad (8)$$

где  $F_r$  – усилие прижатия;

$f$  – коэффициент трения стали по стали при наличии смазки (0,1).

$$F_f = 723,2 \cdot 0,1 = 72,32 \text{ (Н)}.$$

Далее проводим расчеты по вышеприведенным формулам:

$$T_2 = 72,32 \cdot 0,2481 = 17,94 \text{ (Н} \cdot \text{м)};$$

$$T_3 = 17,94 \cdot 4,05 = 72,66 \text{ (Н} \cdot \text{м);}$$

$$E = \frac{2 \cdot 21 \cdot 10^{10} \cdot 21 \cdot 10^{10}}{21 \cdot 10^{10} + 21 \cdot 10^{10}} = 21 \cdot 10^{10} \text{ (Па);}$$

$$\sigma_h = 0,418 \sqrt{\frac{723,2 \cdot 21 \cdot 10^{10}}{0,0324 \cdot 0,01685}} = 220,46 \text{ (МПа).}$$

### Результаты и обсуждение

Контактные напряжения между промежуточным и торOIDальными дисками в конструкции со стальным диском значительно выше (в 146 раз), чем в конструкции с резиновой мембраной. Кроме того, крутящего момента в 72,66 Н · м недостаточно, чтобы удовлетворить тяговые характеристики автомобиля ГАЗ-2217 «Соболь», из чего можно сделать вывод, что контактные напряжения будут еще больше, если повысить усилие прижатия до требуемого значения.

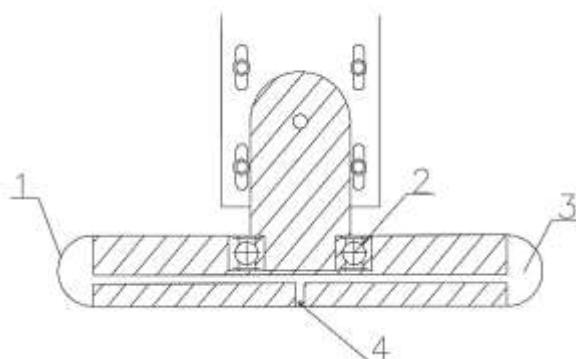


Рисунок 3 – Промежуточный диск: 1 – резиновая мембрана, 2 – подшипник, 3 – воздушный канал с определенным давлением, 4 – золотниковый клапан

ным с точки зрения обеспечения герметизации воздушного контура.

Применение трех промежуточных дисков в каждой ступени, расположенных под углом 120 градусов, не только позволяет предавать требуемый крутящий момент, но и равномерно распределяет усилия по окружности и исключает изгибающий момент на валах.

Выбор резиновой мембранны промежуточного диска как материала для контакта со стальными торOIDальными дисками было обусловлено несколькими факторами. Во-первых, это полное отсутствие масла в системе, а, соответственно, и масляного фильтра, что в свою очередь благополучно оказывается на стоимости содержания такой коробки передач. Во-вторых, это высокий коэффициент трения между сталью и резиной равный  $f = 0,6$ .

При таком варианте автоматической коробки передач торOIDального вариатора требуется выполнять технический ремонт, заменяя при этом резиновые обода промежуточных дисков и пьезоактуаторы. Периодичность такого ремонта регламентируется на каждые 200 000 км пробега.

### Выводы

В статье приведены аргументы в пользу вариаторных коробок передач и выделен перспективный для дальнейшего исследования и усовершенствования вид автоматической коробки передач на базе торOIDального вариатора. Выделен главный недостаток исследуемого агрегата и предложена конструкция, позволяющая исключить данный недостаток путем применения принципов управления в режиме реального времени. Расчетным путем проведено обоснование соответствия тяговых характеристик торOIDального вариатора новой конструкции с одновременным снижением уровня напряжений на ведущем и ведомом дисках. Такой подход даёт возможности проектирования коробок передач новых поколений для различных видов автомобильного транспорта.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Брусенков А.В. и др. Автоматические трансмиссии – Тамбов: Тамб. гос. техн. ун-т, 2010. – 136 с.
- Direct Shift Gearbox [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.volksvagen.ru/ru/technologies/dsg.html>
- Пронин Б.А., Ревков Г.А. Бесступенчатые клиноременные и фрикционные передачи (вариаторы). – Изд. 3-е, перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1980. - 320 с.
- James D. Automatic Transmissions and Transaxles, 2017. - Ed. 7th. Pearson Education.

5. David C. Encyclopedia of Automotive Engineering, 2015. - John Wiley & Sons.
6. «Механика» все менее популярна: опубликована статистика продаж автомобилей с АКП [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://news.drom.ru/74200.html>
7. Пат. 2286495 РФ: МПК F16H61/664/. Фрикционный торовый вариатор.
8. Norris I. Torotrak: The Next CVT? [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.rexresearch.com/torotrak/torotrak.htm>.
9. Поляков Р.Н. Трансмиссии транспортных средств на основе фрикционных передач: инновационные конструкции и перспективы внедрения / Под редакцией А.Н. Новикова // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы 4-ой Международной научно-практической конференции. - 2019. - С. 330-336.
10. Анульев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. - В 3 т. – 8-е. изд. – М.: Машиностроение, 2001.
11. The Mechatronics Handbook. Editor in Chief Robert H. Bishop. The University of Texas at Austin. CRC Press, 2002. - 1245 р.
12. Савин Л.А., Поляков Р.Н., Шутин Д.В., Кузавка А.В. Мехатронные устройства роторных агрегатов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. - Тула: Тульский государственный университет. - №12-2. - 2016. - С. 296-304.
13. Поляков Р.Н., Ревков А.А., Фу Шенг-пинг, Ли Шенбу, Торовый вариатор с гидро- газопрессовым механизмом создания прижимного усилия // Современные тенденции машиностроения и техносферной безопасности: Материалы Международной научно-практической конференции (СТМТБ 2020). - Ростов-на-Дону: ФГБОУ ВО «ДГТУ». - 2020
14. Иванов М.Н. Детали машин: Учебник для вузов. - Изд. 3-е. Доп. и перераб. – М.: «Высшая школа», 1976.
15. Трансмиссии с торовыми вариаторами [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://studopedia.ru/2\\_106606\\_transmissii-s-torovimi-variatorami.html](https://studopedia.ru/2_106606_transmissii-s-torovimi-variatorami.html)
16. Степашин В. Схема тороидального вариатора // Системы современного автомобиля. - 2011. – С. 1.
17. Кузьменко В. Торовый вариатор // Автомобильная газета Клаксон. - 2013. – С. 2.
18. Патент RU 139930, МПК: F16H 15/38 (2006.01). Автоматический торовый вариатор.
19. Патент RU 2286495, МПК: F16H 61/664 (2006.01), F16H 15/38 (2006.01). Фрикционный торовый вариатор.
20. Лукьянов А.С. Методы выбора и оценки характеристик вариатора транспортного средства, 2001.
21. Техническая характеристика автомобилей «Соболь» [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://gazavtomir.ru/info/teh/exploitation/sobol/4>
22. РД 3112199-1085-02. Временные нормы эксплуатационного пробега шин автотранспортных средств; утв. Минтрансом РФ 04.04.2002 (вместе с «Классификацией автотранспортных средств»).
23. Материалы с обратным пьезоэлектрическим эффектом [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://extxe.com/197/materialy-s-obratnym-pezojektricheskim-jeffektom/>
24. Пьезоэлектрические исполнительные механизмы. Линейные двигатели [Электронный ресурс] / Режим доступа: [https://servomotors.ru/documentation/technical\\_means\\_of\\_automation\\_and\\_control/book/6\\_3.html](https://servomotors.ru/documentation/technical_means_of_automation_and_control/book/6_3.html)
25. Пьезоактуаторы – Системы нанопозиционирования PI – Продукция – Евротек Джениерал [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://www.eurotek-general.ru/products/systems\\_pi/piezoactuators/?PAGEN\\_1=1](http://www.eurotek-general.ru/products/systems_pi/piezoactuators/?PAGEN_1=1)

**Поляков Роман Николаевич**

Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева

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

Д.т.н., доцент, заведующий кафедрой мехатроники, механики и робототехники

E-mail: romanpolak@mail.ru

**Ревков Артём Александрович**

Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева

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

Аспирант

E-mail: artem\_revkov@mail.ru

R.N. POLYAKOV, A.A. REVKOV

## **THE TOROIDAL VARIATOR WITH THE FUNCTION OF ACTIVE CHANGING OF THE CLAMPING FORCE**

*Abstract. The paper describes the results of the analysis of automatic transmission gearboxes (ATG) used in automotive industry, proposes an alternative variant of automatic transmission gear-*

box based on the toroidal type variator, gives advantages as well as a proposal to improve this type of automatic transmission in order to increase the level of its resource and carrying capacity by changing the clamping force of the working elements in critical modes. The proposed design of toroidal variator will allow to solve the problems with reliability of variators, to expand the possibility of using variators with more powerful engines while reducing maintenance costs, which will allow to use this design in serial automobiles.

**Keywords:** automatic gearbox, friction gears, variator, toroidal variator, CVT, automotive industry, variator reliability

## BIBLIOGRAPHY

1. Brusenkov A.V. i dr. Avtomaticheskie transmissii - Tambov: Tamb. gos. tekhn. un-t, 2010. - 136 s.
2. Direct Shift Gearbox [Elektronnyy resurs] - Rezhim dostupa: <https://www.volksvagen.ru/ru/technologies/dsg.html>
3. Pronin B.A., Revkov G.A. Besstupenchatye klinoremennye i friktsionnye peredachi (variatory). - Izd. 3-e, pererab. i dop. - M.: Mashinostroenie, 1980. - 320 s.
4. James D. Automatic Transmissions and Transaxles, 2017. - Ed. 7th. Pearson Education.
5. David C. Encyclopedia of Automotive Engineering, 2015. - John Wiley & Sons.
6. «Mekhanika» vse menee populyarna: opublikovana statistika prodazh avtomobiley s AKP [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://news.drom.ru/74200.html>
7. Pat. 2286495 RF: MPK F16H61/664. Friktionnyy torovyy variator.
8. Norris I. Torotrak: The Next CVT? [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <http://www.rexresearch.com/torotrak/torotrak.htm>.
9. Polyakov R.N. Transmissii transportnykh sredstv na osnove friktsionnykh peredach: innovatsionnye konstruktsii i perspektivnye vnedreniya / Pod redaktsiey A.N. Novikova // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: Materialy 4-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - 2019. - S. 330-336.
10. Anur'ev V.I. Spravochnik konstruktora-mashinostroitylya. - V 3 t. - 8-e. izd. - M.: Mashinostroenie, 2001.
11. The Mechatronics Handbook. Editor in Chief Robert H. Bishop. The University of Texas at Austin. CRC Press, 2002. - 1245 p.
12. Savin L.A., Polyakov R.N., Shutin D.V., Kuzavka A.V. Mekhatronnye ustroystva rotornykh agregatov // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. - Tula: Tul'skiy gosudarstvennyy universitet. - №12-2. - 2016. - S. 296-304.
13. Polyakov R.N., Revkov A.A., Fu Sheng-ping, Li Shenbu, Torovyy variator s gidro- gazopressovym mehanizmom sozdaniya prizhimnogo usiliya // Sovremennye tendentsii mashinostroeniya i tekhnosfernoy bezopasnosti: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (STMTB 2020). - Rostov-na-Donu: FGBOU VO «DGTU». - 2020
14. Ivanov M.N. Detali mashin: Uchebnik dlya vuzov. - Izd. 3-e. Dop. i pererab. - M.: «Vysshaya shkola», 1976.
15. Transmissii s torovymi variatorami [Elektronnyy resurs] - Rezhim dostupa: [https://studopedia.ru/2\\_106606\\_transmissii-s-torovimi-variatorami.html](https://studopedia.ru/2_106606_transmissii-s-torovimi-variatorami.html)
16. Stepanishin V. Skhema toroidal'nogo variatora // Sistemy sovremennoy avtomobilya. - 2011. - S. 1.
17. Kuz'menko V. Torovy variator // Avtomobil'naya gazeta Klakson. - 2013. - S. 2.
18. Patent RU 139930, MPK: F16H 15/38 (2006.01). Avtomaticheskiy torovyy variator.
19. Patent RU 2286495, MPK: F16H 61/664 (2006.01), F16H 15/38 (2006.01). Friktionnyy torovyy variator.
20. Luk'yanov A.S. Metody vybora i otsenki kharakteristik variatora transportnogo sredstva, 2001.
21. Tekhnicheskaya kharakteristika avtomobiley «Sobol» [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://gazavtomir.ru/info/teh/exploitation/sobol/4>
22. RD 3112199-1085-02. Vremennye normy ekspluatatsionnogo probega shin avtotransportnykh sredstv; utv. Mintransom RF 04.04.2002 (vmeste s «Klassifikatsiey avtotransportnykh sredstv»).
23. Materialy s obratnym p'ezoelektricheskim effektom [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://extxe.com/197/materialy-s-obratnym-pezojektricheskim-jeffektom/>
24. P'ezoelektricheskie ispolnitel'nye mehanizmy. Lineynye dvigateli [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: [https://servomotors.ru/documentation/technical\\_means\\_of\\_automation\\_and\\_control/book/6\\_3.html](https://servomotors.ru/documentation/technical_means_of_automation_and_control/book/6_3.html)
25. P'ezoaktuator - Sistemy nanopozitsionirovaniya PI - Produktsiya - Evrotek Dzheneral [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: [http://www.eurotek-general.ru/products/systems\\_pi/piezoactuators/?PAGEN\\_1=1](http://www.eurotek-general.ru/products/systems_pi/piezoactuators/?PAGEN_1=1)

**Polyakov Roman Nikolaevich**

Orel State University

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

Doctor of technical sciences

E-mail: romanpolak@mail.ru

**Revkov Artem Aleksandrovich**

Orel State University

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

Graduate student

E-mail: artem\_revkov@mail.ru

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Научная статья

УДК 625.72.003.1

doi:10.33979/2073-7432-2023-4-2(83)-29-34

ГО АОХУА

### СТРАТЕГИЯ КИТАЯ ПО СОЗДАНИЮ БЕСПИЛОТНОГО ТРАНСПОРТА

**Аннотация.** Интеллектуальные транспортные системы (ИТС) быстро развиваются во всем мире благодаря разработке современных методов и устройств телеметрии, связи, анализа и вычислений. Они революционизируют транспортные услуги, предлагая безопасный и высококачественный опыт, который оказывает глубокое влияние на все аспекты жизни общества. Однако постоянно растущая неопределенность, разнообразие и сложность механизмов, а также разнообразие стратегий, задействованных в этой системе, приводят к высокой степени социальной сложности, которая оставляет многие проблемы нерешенными. В этой статье мы рассматриваем стратегию Китайской Народной Республики (КНР) по созданию беспилотного транспорта. Мы подробно обсуждаем ключевые элементы этой стратегии и проводим сравнение между КНР и США, поскольку обе страны являются лидерами в этой области.

**Ключевые слова:** беспилотный транспорт, интеллектуальная транспортная система, стратегия, технология, цифровизация

#### Введение

Основной функцией интеллектуальной транспортной системы (ИТС) является сбор и анализ данных о состоянии транспортной системы, управление транспортным потоком и предоставление информации участникам дорожного движения. Объем и разнообразие потоков данных, обрабатываемых в ИТС, настолько велики, что участие человека в их оперативном управлении по своей сути ограничено. В лучшем случае человек может лишь дать общую оценку ситуации и принять решение о переходе к заранее разработанному сценарию управления.

Создание сценариев управления является важнейшим аспектом проектирования интеллектуальной транспортной системы (ИТС). Эти сценарии должны гарантировать стабильность и управляемость транспортной системы в различных условиях и несмотря на любые внешние возмущения, вызванные антропогенными, техногенными или природными факторами. Чтобы соответствовать этому требованию, ИТС должна пройти тщательное тестирование, которое моделирует как нормальные, так и аномальные ситуации для обеспечения оптимальной работы во всех сценариях.

#### Материал и методы

Китай предпринимает систематические усилия по разработке беспилотных автомобилей с конечной целью доминирования на автомобильном рынке [1,2]. Для достижения этой цели страна вкладывает значительные средства во все аспекты этого нового сегмента автомобильной промышленности, включая технологии, стартапы, испытания, регулирование и внедрение [3].

Несмотря на спад продаж автомобилей в Китае за последние два года, автомобильная промышленность страны продолжает развиваться с тех пор, как в 2009 году она стала крупнейшим в мире автомобильным рынком. В 2017 году в Китае было продано более 28 миллионов автомобилей, а в 2019 году общее количество продаж автомобилей в стране составит 24,7 миллиона. Для сравнения, США продавали более 17 миллионов автомобилей в каждый из последних пяти лет, с небольшим снижением в 2019 году до 17,1 миллиона. Автопарк США также продолжает расти, достигнув 284 млн автомобилей к концу 2019 года [4,5].

В 2019 году китайский автопарк насчитывал 234 миллиона автомобилей, и он растет более быстрыми темпами, чем в США, которые Китай, как ожидается, превзойдет к 2024 году. Однако по количеству автомобилей на душу населения США значительно опережают Китай, и маловероятно, что Китай когда-либо догонит их: 854 автомобиля на 1000 человек в США против 168 на 1000 в Китае [6, 7, 9].

Тем не менее, Китай прилагает значительные усилия, чтобы утвердиться в качестве лидера в разработке, тестировании и внедрении беспилотных транспортных технологий. В основном это обусловлено убеждением, что по мере дальнейшего развития этих технологий

они окажут значительное влияние на отечественную автомобильную промышленность и увеличат ее экспортный потенциал.

Китай стремится утвердиться в качестве лидера в области интеллектуальной собственности, связанной с аккумуляторными электромобилями (BEV) и автономными транспортными средствами (AV) и лежащими в их основе технологиями. Однако его позиции в области передовых двигателей внутреннего сгорания относительно слабы. Чтобы запустить собственную автомобильную промышленность, Китаю потребовались совместные предприятия с автопроизводителями из Европы, Америки, Японии и Кореи [8].

Технология беспилотных автомобилей является важнейшим компонентом стратегии Китая по завоеванию позиций на автомобильном рынке, наряду с электромобилями на аккумуляторах. В феврале 2020 года правительство Китая выпустило обновленную версию своей «Стратегии инноваций и развития интеллектуальных транспортных средств», которая впервые была разработана в январе 2018 года. В этом плане говорится о взаимозаменяющем использовании интеллектуальных и автономных транспортных средств.

В плане, разработанном одиннадцатью центральными правительственные ведомствами Китая, изложена стратегия быстрого развития беспилотных транспортных технологий в Китае в течение следующих трех десятилетий [11, 12]. Этот план показывает, что Китай верит в разрушительное воздействие технологии автономного вождения на многочисленные отрасли промышленности. Учитывая участие многочисленных ведомств, становится очевидным, что в Китае хорошо понимают влияние автономного транспорта на важнейшие промышленные отрасли, включая автомобилестроение, электронику, программное обеспечение, микросхемы, картографию, транспорт, телекоммуникации и другие.

Чтобы справиться с грядущими изменениями, вызванными беспилотным транспортом, китайским государственным органам необходимо скоординировать свои усилия. Стратегия Китая сосредоточена не только на технологических вопросах, но и на регулировании, стандартах и необходимости реструктуризации существующих транспортных сегментов. Инициатива правительственные организаций по пониманию и продвижению этих процессов является положительным моментом для развития и внедрения китайского беспилотного транспорта.

### **Теория**

Китайская компания Baidu недавно запустила свою первую полностью автономную службу такси в городах Чунцин и Ухань. Хотя ранее компания уже проводила испытания беспилотных автомобилей в различных регионах Китая, правила требовали присутствия в машине водителя-эксперта. Однако эта новая коммерческая транспортная услуга не требует присутствия водителя, что является важной вехой в развитии автономного транспорта в Китае. Поездка в одном из этих такси без водителя стоит 16 юаней (около 143 рублей), плюс дополнительные 2,8 юаня (около 25 рублей) за километр. В настоящее время компания предлагает скидки до 90 % своим первым клиентам.

В настоящее время в Ухане и Чунцине работают только десять автономных такси, причем в дневные часы их количество ограничено. Однако по мере развития проекта ожидается развертывание большего количества автомобилей. Стоит отметить, что Baidu - не единственная китайская компания, разрабатывающая автономные автомобили. Другие компании, такие как DeepRoute.ai, недавно представили свои собственные самоуправляемые автомобили, продемонстрировав их возможности на оживленных дорогах в Шэньчжэне, городе с населением 17,5 миллионов человек. На видео автомобиль смог проехать по центральному деловому району 14 километров за один час, успешно справляясь с такими сложными ситуациями, как внезапная смена полосы движения, проезд на красный свет и неожиданные столкновения с велосипедистами.

Платформа Apollo, запущенная в июле 2016 года, - это платформа с открытым исходным кодом для автономных транспортных средств, которая позволяет разработчикам и компаниям использовать ее код. Baidu разрабатывала технологию в течение нескольких лет и сотрудничала с Microsoft, Nvidia и Intel. Baidu именует Apollo как «Android для беспилотных автомобилей».

Daimler присоединился к платформе Apollo в июле 2018 года для разработки технологий и услуг для самоуправляемых автомобилей и обеспечения коммуникационных возможностей. Daimler оснастил свои автомобили Mercedes-Benz технологией платформы Apollo и провел испытания в Национальной экспериментальной зоне в Пекине и Хэбэе, причем в автомобиле присутствовали специально обученные водители.

В июле 2018 года BMW Group и китайская поисковая система Baidu подписали соглашение, предусматривающее участие автопроизводителя в активном развитии платформы

Apollo и членство в совете директоров организации. Данное соглашение было подписано во время визита премьер-министра Китая Ли Кэцяна в Германию.

Проект предусматривает тестирование самоуправляемых автомобилей Mercedes-Benz четвертого уровня, в которых водитель не контролирует автомобиль и его действия. Daimler отмечает, что тестирование в условиях интенсивного городского движения позволит усовершенствовать технологию.

Daimler объявил о своем партнерстве с китайской интернет-компанией Baidu вскоре после получения разрешения от Пекина на тестирование своих автономных автомобилей на улицах китайской столицы. Это разрешение сделало Daimler первым иностранным автопроизводителем, получившим такое разрешение. Baidu работала над платформой Apollo в течение нескольких лет, прежде чем решила предоставить свою технологию автономного вождения в распоряжение партнеров.

Таким образом компания надеется ускорить разработку автономных автомобилей и составить конкуренцию американским компаниям Tesla Motors и Google, которые добились значительных успехов в разработке автомобилей, способных ездить без участия человека.

В период с 2014 по 2016 год BMW и Baidu сотрудничали в области разработки технологии самостоятельного вождения с целью создания автомобилей, которые могли бы принимать самостоятельные решения на дороге в определенных обстоятельствах. При тестировании этих автомобилей использовались карты высокого разрешения Baidu и электронные помощники BMW, такие как адаптивный круиз-контроль и автоматическая парковка. Однако в ноябре 2016 года BMW объявила о прекращении сотрудничества с Baidu, сославшись на разногласия в отношении дальнейших исследований технологий, связанных с автономным обгоном.

Стратегический документ по беспилотному транспорту в Китае охватывает несколько ключевых областей, включая технологии, инфраструктуру, кибербезопасность, регулирование и международное сотрудничество. Примечательным аспектом китайского подхода является акцент на открытых технологических системах для поощрения инноваций. Например, платформа Baidu Apollo AV является ярким примером такого подхода, способствуя развитию широкой экосистемы компаний и стимулируя быстрые инновации.

Стратегия также охватывает другие важнейшие технологии, такие как архитектура, чипы для систем самостоятельного вождения и искусственного интеллекта (ИИ), программное обеспечение, программные платформы (включая операционные системы), карты высокой четкости и технологии точного позиционирования. В стратегическом документе также подчеркивается важность развития беспилотного транспорта.

Китай разработал планы по использованию различных технологий в качестве инфраструктуры для беспилотных автомобилей. Карты высокого разрешения уже используются китайскими компаниями, работающими в этой области. Однако для разработки карт высокой четкости требуются необходимые разрешения, и лишь немногие китайские фирмы получили их из-за ряда ограничений в Китае. Китай также заинтересован в развертывании связи 5G для поддержки развития беспилотного транспорта, и он стал лидером в развертывании 5G. Однако ожидается, что потребуется более пяти лет, чтобы достичь нынешнего охвата сетей четвертого поколения.

Китай планирует внедрить возможности C-V2X (сотовая связь между транспортными средствами) во всех сценариях беспилотных автомобилей, что, как ожидается, повысит безопасность самоуправляемых автомобилей и сделает их более эффективными. Однако для эффективной работы этого протокола необходима большая база автомобилей с поддержкой C-V2X. Поскольку в настоящее время более 230 миллионов автомобилей не поддерживают C-V2X, ожидается, что его развертывание будет происходить медленнее, чем 5G. Большинство автомобилей на дорогах вряд ли будут оснащены этой системой до 2035 года или позже. Однако замена смартфонов происходит гораздо быстрее, чем замена автомобилей, что сделает связь V2P (транспортное средство-пешеход) полезной к 2030 году. Анализ активности пешеходов является актуальной задачей в области самодвижущихся автомобилей, и ожидается, что протокол C-V2X будет полезен в этом отношении.

Отдельный аспект стратегии Китая в области беспилотного транспорта посвящен решению проблемы кибербезопасности, что подчеркивает осознание страной важности и проблем, связанных с внедрением аппаратного и программного обеспечения кибербезопасности. Автомобильная промышленность формирует два важнейших стандарта кибербезопасности, а именно ISO 21434 и UN WP.29. Ожидается, что Китай будет использовать или разрабатывать эти стандарты кибербезопасности [16].

Стратегический документ по беспилотному транспорту в Китае подчеркивает важность внутреннего и международного сотрудничества в развитии соответствующих технологий. В частности, он поощряет коммерциализацию усилий международных компаний на рынке Китая, а также призывает к принятию стандартизованных протоколов для сертификации и аккредитации беспилотных транспортных средств во всех регионах.

Стратегия, изложенная Китаем, подчеркивает необходимость обновления законов и стандартов для беспилотного транспорта, причем программное обеспечение для автономного вождения является ключевым приоритетом. Это включает в себя установление юридической ответственности, решение правовых вопросов и разработку правил управления данными.

Кроме того, важно установить законы и правила, определяющие обязательства и ответственность всех заинтересованных сторон. Необходимо пересмотреть и обновить китайские правила дорожного движения, а также законы, регулирующие сбор и обработку карт в беспилотных автомобилях. Хотя правила тестирования беспилотных автомобилей существуют, китайские законы должны быть адаптированы в соответствии с новой стратегией развития.

В отчете о стратегии развития беспилотного транспорта приводятся примерные сроки реализации планов, включая несколько целей, которые должны быть достигнуты к 2025 году. Вот некоторые из них:

- крупномасштабное производство беспилотных транспортных средств уровня 3, которые работают в определенных условиях. Сюда входят системы беспилотного вождения уровня 3, разработанные несколькими производителями оригинального оборудования (OEM);

- развертывание беспилотных транспортных средств уровня 4 для работы в специфических условиях, таких как робототакси, беспилотные грузовые и товарные транспортные средства;

- создание комплексных китайских стандартов для беспилотных транспортных средств, охватывающих технологические инновации, инфраструктуру, законодательство, надзор и сетевую безопасность.

Преимущества связи между транспортными средствами (V2V) в дорожном движении с точки зрения безопасности подчеркивают необходимость обеспечения безопасности сети для предотвращения злонамеренных действий. Традиционный подход к обеспечению безопасности включает цифровую подпись каждого сообщения безопасности и регулирование доступа транспортных средств к системе путем внедрения протокола аутентификации, который проверяет личность участников, при этом сертификат выдается, когда транспортное средство присоединяется к сети. Для обеспечения целостности сообщения каждое сообщение безопасности подписывается с использованием закрытого ключа отправителя и включает его цифровой сертификат. Получатель должен проверить подпись и аутентифицировать отправителя, проверив сертификат [17].

#### *Результаты и обсуждение*

Стандарты ETSI TS и IEEE 1609.2 предлагают использовать централизованную инфраструктуру открытых ключей (PKI) для управления цифровыми сертификатами в системах связи между автомобилями (V2V). Обычно PKI основана на центре сертификации (CA), который выдает и отзывает цифровые сертификаты. Однако использование ЦС создает единую точку отказа в C-ITS, а кибер-атаки на сети ЦС привели к компрометации учетных записей пользователей, выпуску поддельных сертификатов и проведению атак типа «человек посередине». Более того, включение сертификата увеличивает вычислительные и коммуникационные затраты, что приводит к увеличению задержки доставки сообщений. Фактически, включение сертификата требует дополнительных 145 байт в пакете CAM или BSM, которые являются сообщениями безопасности, определенными стандартами ETSI TS и IEEE 1609.2. Исследования показали, что проверка подписи и сертификата может существенно повлиять на остановочный путь, увеличивая его более чем на среднюю длину автомобиля во время интенсивного движения. Поэтому для решения этих проблем необходимо изучить альтернативные методы обеспечения безопасности систем связи V2V.

Китай стал ведущей силой в разработке и испытании технологий беспилотного транспорта в различных сценариях. Хотя Китай также пострадал от пандемии COVID-19, ее последствия были сравнительно меньше, чем в других странах, что позволило Китаю укрепить свои позиции в качестве основного конкурента США в области беспилотного транспорта. Выпуск документа о стратегии развития в 2020 году был хорошо воспринят в Китае, что привело к увеличению инвестиций в отрасль и всплеску испытаний беспилотных автомобилей за последние шесть месяцев. Однако, несмотря на то, что беспилотные автомобили обладают потенциалом для позитивных изменений в обществе, их внедрение является сложной

задачей. Национальная администрация безопасности дорожного движения США отмечает, что преимущества беспилотных автомобилей варьируются от повышения мобильности пожилых людей и инвалидов до повышения эффективности и удобства.

### **Выводы**

Прогнозируется, что усовершенствованная автоматизация транспортных средств повысит безопасность дорожного движения за счет снижения и, в конечном итоге, полного предотвращения аварий. Исследования показывают, что 94 % аварий происходят по вине человека. Более того, беспилотные технологии способны оказать положительное влияние на общество, ограничивая выбросы углекислого газа и способствуя устойчивому образу жизни. Последние годы ознаменовались значительным технологическим прогрессом в области автономных транспортных средств (АТС). В настоящее время большинство автоматизированных автомобилей на рынке оснащены передовыми системами помощи водителю, которые помогают водителям избежать или снизить тяжесть аварий, предотвращая выезд за пределы полосы движения или помогая своевременно остановиться.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Автопилот - в каждый второй автомобиль к 2025 году: Китай метит в лидеры рынка беспилотных технологий [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://3dnews.ru/1025201/avtopilot-v-kagdiy-vtoroy-avtomobil-k-2025-godu-kitay-metit-v-lideri-rynika-bespilotnih-tehnologiy>
2. Архитектура автономных (беспилотных) автомобилей и инфраструктура для их эксплуатации [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/arhitektura-avtonomnyh-bespilotnyh-avtomobiley-i-infrastruktura-dlya-ih-ekspluatatsii>
3. Беспилотные автомобили (мировой рынок) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: Беспилотные автомобили (мировой рынок)
4. Китайский город запускает проект интеллектуальной транспортной системы [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://prc.today/kitajskij-gorod-zapускает-proekt-intellektualnoj-transportnoj-sistemy/>.
5. Китай - мировой лидер в области инновационных технологий беспилотного вождения? [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/kitay-mirovoy-lider-v-oblasti-innovatsionnyh-tehnologiy-bespilotnogo-vozhdeniya>.
6. Китай хочет, чтобы технология самостоятельного вождения в половине новых автомобилей к 2025 году [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://asia.nikkei.com/Business/Automobiles/China-wants-self-driving-tech-in-half-of-new-cars-by-2025>.
7. Китайская Baidu откроет платформу для создания беспилотных машин всем автопроизводителям [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://vc.ru/transport/23302-baidu-open-selfdriving>.
8. Мировой рынок автономных (беспилотных) автомобилей [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/mirovoy-gupok-avtomobiley-bespilotnyh-avtomobiley>.
9. Мотивы внедрения автономных (беспилотных) автомобилей в ЕС и США [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/motivy-vnedreniya-avtomobiley-bespilotnyh-avtomobiley-v-ec-i-ssha>.
10. Нарушение автономного вождения: технология, варианты использования и возможности [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/autonomous-driving-disruption-technology-use-cases-and-opportunities>.
11. О перспективах Китая на мировом рынке «Зеленых» автомобилей [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-perspektivah-kitaya-na-mirovom-rynke-zelenyh-avtomobiley>.
12. Онтологии и безопасность автономных (беспилотных) автомобилей [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/ontologii-i-bezopasnost-avtomobiley-bespilotnyh-avtomobiley>.
13. Почему городской транспорт в Китае становится беспилотным [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://rg.ru/2020/08/25/pochemu-gorodskoj-transport-v-kitae-stanovitsia-bespilotnym.html>.
14. Правовые основы ответственности за вред, причиненный при эксплуатации автономного автомобиля [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/pravovye-osnovy-otvetstvennosti-za-vred-prichinennyi-pri-ekspluatatsii-avtomobiley>.
15. Рынок автономных транспортных средств Китая [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/how-china-will-help-fuel-the-revolution-in-autonomous-vehicles>
16. Транспортная система Китая - Успехи современного естествознания [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=30460>.
17. Экономические эффекты автономных (беспилотных) автомобилей [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskie-effekty-avtomobiley-bespilotnyh-avtomobiley>.
18. Didi deploys self-driving taxi fleet in Shanghai, seeking edge on Baidu [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://asia.nikkei.com/Business/China-tech/Didi-deploys-self-driving-taxi-fleet-in-Shanghai-seeking-edge-on-Baidu>
19. Китай станет лидером рынка беспилотного транспорта к 2040 году [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://incrussia.ru/news/kitaj-liderom-rynika-bespilotnogo-transporta/>.
20. Seagate поможет организовать испытания робомобилей в реальных условиях [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://servernews.ru/1025791?from=related-grid&from-source=1025201>.

### **Го Аохуа**

Донской государственный технический университет

Адрес: 344022, Россия, Ростов-на-Дону, Социалистическая, 162

Аспирант, E-mail: runab666.6@mail.ru

## CHINA'S STRATEGY FOR UNMANNED TRANSPORT

**Abstract.** With the development of modern telemetry, communication, analysis and computing methods and devices, we have witnessed the rapid development of Intelligent Transport Systems (ITS). They are having a profound impact on all aspects of society through safe and high-quality transport services. Nevertheless, due to the ever-increasing uncertainty, the variety and complexity of mechanisms, and the variety of strategies involved in this system, ITS currently exhibit a high degree of social complexity, leaving many problems unresolved. This article examines the PRC's strategy for unmanned transport. The points of the strategy are discussed in detail. A comparison of the PRC with the US is given, as both countries are leaders in this field.

**Keywords:** unmanned transport, intelligent transport system, strategy, technology

## BIBLIOGRAPHY

1. Avtopilot - v kazhdyy vtoroy avtomobil` k 2025 godu: Kitay metit v lidery rynka bespilotnykh tekhnologiy [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://3dnews.ru/1025201/avtopilot-v-kagdiy-vtoroy-avtomobil-k-2025-godu-kitay-metit-v-lideri-rynika-bespilotnih-tehnologiy>
2. Arkhitektura avtonomnykh (bespilotnykh) avtomobiley i infrastruktura dlya ikh ekspluatatsii [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/article/n/arkhitektura-avtonomnyh-bespilotnyh-avtomobiley-i-infrastruktura-dlya-ih-ekspluatatsii>.
3. Bespilotnye avtomobili (mirovoy rynok) [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: Bespilotnye avtomobili (mirovoy rynok)
4. Kitayskiy gorod zapuskaet proekt intellektualnoy transportnoy sistemy [Elektronnyy re-surs]. - Rezhim dostupa: <https://prc.today/kitajskij-gorod-zapuskaet-proekt-intellektualnoj-transportnoj-sistemy/>.
5. Kitay - mirovoy lider v oblasti innovatsionnykh tekhnologiy bespilotnogo vozhdeniya? [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/article/n/kitay-mirovoy-lider-v-oblasti-innovatsionnyh-tehnologiy-bespilotnogo-vozhdeniya>.
6. Kitay khochet, chtoby tekhnologiya samostoyatel`nogo vozhdeniya v polovine novykh avtomobiley k 2025 godu [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://asia.nikkei.com/Business/Automobiles/China-wants-self-driving-tech-in-half-of-new-cars-by-2025>.
7. Kitayskaya Baidu otkroet platformu dlya sozdaniya bespilotnykh mashin vsem avtoproizvoditelyam [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://vc.ru/transport/23302-baidu-open-selfdriving>.
8. Mirovoy rynok avtonomnykh (bespilotnykh) avtomobiley [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/article/n/mirovoy-rynek-avtonomnyh-bespilotnyh-avtomobiley>.
9. Motivy vnedreniya avtonomnykh (bespilotnykh) avtomobiley v EC i SSHA [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/article/n/motivy-vnedreniya-avtonomnyh-bespilotnyh-avtomobiley-v-ec-i-ssha>.
10. Narushenie avtonomnogo vozhdeniya: tekhnologiya, variandy ispol`zovaniya i vozmozhnosti [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/autonomous-driving-disruption-technology-use-cases-and-opportunities>.
11. O perspektivakh Kitaya na mirovom rynke «Zelenykh» avtomobiley [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-perspektivah-kitaya-na-mirovom-rynke-zelenyh-avtomobiley>.
12. Ontologii i bezopasnost` avtonomnykh (bespilotnykh) avtomobiley [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/article/n/ontologii-i-bezopasnost-avtonomnyh-bespilotnyh-avtomobiley>.
13. Pochemu gorodskoy transport v Kitae stanovitsya bespilotnym [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://rg.ru/2020/08/25/pochemu-gorodskoj-transport-v-kitae-stanovitsya-bespilotnym.html>.
14. Pravovye osnovy otvetstvennosti za vred, prichinenny pri ekspluatatsii avtonomnogo avtomobilya [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/article/n/pravovye-osnovy-otvetstvennosti-za-vred-prichinenny-pri-ekspluatatsii-avtonomnogo-avtomobilya>.
15. Rynok avtonomnykh transportnykh sredstv Kitaya [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/how-china-will-help-fuel-the-revolution-in-autonomous-vehicles>.
16. Transportnaya sistema Kitaya - Uspekhi sovremennoego estestvoznaniya [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=30460>.
17. Ekonomicheskie effekty avtonomnykh (bespilotnykh) avtomobiley [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskie-effekty-avtonomnyh-bespilotnyh-avtomobiley>.
18. Didi deploys self-driving taxi fleet in Shanghai, seeking edge on Baidu [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://asia.nikkei.com/Business/China-tech/Didi-deploys-self-driving-taxi-fleet-in-Shanghai-seeking-edge-on-Baidu>.
19. Kitay stanet liderom rynka bespilotnogo transporta k 2040 godu [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://incrussia.ru/news/kitaj-liderom-rynika-bespilotnogo-transporta/>.
20. Seagate pomozhet organizovat` ispytaniya robomobiley v real`nykh usloviyakh [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://servernews.ru/1025791?from=related-grid&from-source=1025201>.

### Guo Aohua

Don State Technical University

Address: 344022, Russia, Rostov-on-Don, Socialist, 162

Graduate student, Email: runa666.6@mail.ru

## БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ И АВТОМОБИЛЬНЫЕ ПЕРЕВОЗКИ

Научная статья

УДК 656.1

doi:10.33979/2073-7432-2023-4-2(83)-35-43

М.Г. БОЯРШИНОВ, А.С. ВАВИЛИН

### АНАЛИЗ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ В ТРАНСПОРТНОМ ПОТОКЕ НА ДОРОГАХ С РАЗНЫМИ ТИПАМИ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ

*Аннотация. В настоящей работе предлагается количественная оценка (опирающаяся на формализованное определение) формирования и эволюции транспортного затора, использующая детерминированные характеристики случайной величины – продолжительности движения отдельных автомобилей транспортного потока между рубежами контроля: среднее значение, моду, медиану, дисперсию, среднеквадратичное отклонение, коэффициент вариации, показатели асимметрии и эксцесса. Исходные данные получены с помощью аппаратно-программных комплексов фиксации нарушений правил дорожного движения, установленных на городской улично-дорожной сети. Установлено, что для одного и того же участка дороги характер эволюции перечисленных детерминированных показателей продолжительности движения между двумя рубежами контроля существенно различается при свободном движении автомобильного транспорта и в случае образования транспортного затора. Выполненное исследование может служить основой разработки механизма оценки в режиме реального времени вероятности образования транспортных заторов, а также использоваться для выработки рекомендаций по оперативному реагированию транспортных служб для их предотвращения и ликвидации.*

*Ключевые слова:* транспортный затор, транспортный поток, продолжительность движения, детерминированные показатели случайных величин

#### **Введение**

Проблема транспортных заторов является приоритетной для транспортной системы [1-3]. Причинами образования транспортных заторов являются общий рост числа автомобилей [4], дорожно-транспортные происшествия [5], уменьшение пропускной способности дороги [6-8], повышение плотности автомобилей на участке дороги [9], увеличение грузового автомобильного парка и объема перевозок [10, 11], наличие нерегулируемых пересечений, въездов и пешеходных переходов [12], установка светофоров с большим количеством фаз [13], несогласованность их работы [14], строительно-ремонтные работы [15], нерациональная организация работы пунктов взимания платы за проезд [16], человеческий фактор [12, 17, 18] и другие.

Транспортные заторы ведут к снижению скорости движения и увеличению времени в пути [19], повышению расхода топлива и стоимости перевозок [20, 21], увеличению загрязняющих выбросов в окружающую среду, аварийности и уровня шума, опасностям для здоровья [21], снижению производительности труда и качества транспортного обслуживания, снижают безопасность участников дорожного движения [21, 22], ухудшению психологического состояния водителей и пассажиров и проч.

В настоящее время в РФ понятие транспортного затора закреплено стандартом [23]: «Затор (traffic impediment): скопление транспортных средств, вынужденных существенно снижать скорость движения вплоть до полного его прекращения в пределах одной или нескольких полос движения из-за каких-либо помех движению».

Следует отметить, что у авторов публикаций имеется общее понимание состояния транспортного затора: повышение плотности транспортных средств на дороге, снижение скорости движения или полная остановка автомобилей, снижение пропускной способности участка дороги и проч. Встречаются указания на специфические значения некоторых характеристик движения автомобилей, например, «скорость ниже нормальной».

Возможно, нормальная скорость, нормальная интенсивность транспортного потока, нормальная плотность автомобилей должны подразумевать некоторые конкретные значения, характерные для конкретного участка дороги, ниже (или выше) которых можно считать эти величины ненормальными или, другими словами, характеризующими (предсказывающими) образование транспортного затора. Тем не менее сформулированные определения не позволяют определить количественные характеристики, описывающие формирование (ликвидацию) транспортного затора. Понятно, что нормальные, или пороговые, значения каждого из перечисленных параметров транспортного потока не являются универсальными, и для каждого конкретного участка дороги должны определяться индивидуально. Это связано с особенностями устройства проезжей части, ограничениями скорости, общим количеством и наличием выделенных полос движения, метеорологическими показателями, сезонными условиями и прочими факторами.

### ***Материал и методы***

#### **Методика исследования транспортного затора**

Следует ожидать, что при формировании, эволюции и ликвидации транспортного затора в результате дорожно-транспортного происшествия, ремонта проезжей части, нарушения скоростного режима или правил дорожного движения, причин случайного (спонтанного) характера или вследствие иных обстоятельств основные показатели транспортного потока принимают специфические (критические) значения, отличающие их от «нормальных» значений, уникальных для каждого конкретного участка дорожно-транспортной сети. Оперативное обнаружение таких специфических значений позволит операторам служб контроля дорожного движения своевременно принимать обоснованные решения и осуществлять оптимальные действия по управлению транспортными потоками для исключения негативных последствий транспортных заторов.

Для корректного определения специфических значений транспортного потока, указывающих на формирование (эволюцию, ликвидацию) транспортного затора, необходимо:

- собрать данные о «нормальных» показателях транспортного потока на исследуемом участке (плотность, интенсивность и скорость потока транспорта, время проезда и другие показатели, характерные для свободного движения автомобилей);
- определить аномальные (критические) значения основных параметров транспортного потока при формировании, эволюции и ликвидации транспортного затора, когда наблюдается затрудненное движение транспорта;
- выполнить сопоставление и анализ показателей транспортного потока при свободном движении автомобильного транспорта и в случае транспортного затора;
- сформировать критерии выявления аномальных значений показателей транспортного потока для оценки вероятности образования транспортного затора.

### ***Теория***

Предварительные исследования транспортных потоков на улично-дорожной сети крупного города [24-28] показали целесообразность исследования транспортных заторов с использованием аппарата математической статистики. В настоящей работе с использованием определения [23] предлагается подход к количественной оценке формирования и эволюции транспортного затора, использующий детерминированные оценки случайных величин продолжительности движения отдельных автомобилей транспортного потока между рубежами контроля: среднее значение, моду, медиану, дисперсию, среднеквадратичное отклонение, коэффициент вариации, показатели асимметрии и эксцесса. В качестве исходных данных для настоящего исследования использовалась информация, получаемая с помощью аппаратно-программных комплексов фиксации нарушений правил дорожного движения, установленных на улично-дорожной сети.

Формирование транспортного затора на участке улично-дорожной сети можно отслеживать по изменению времени движения автомобиля между рубежами контроля. Наличие программно-аппаратных комплексов фото- и видеофиксации, способных распознавать государственные регистрационные знаки, позволяет фиксировать время  $t_i^H$  появления каждого

автомобиля на начальном пункте и время  $t_i^k$  достижения им конца контрольного участка. Продолжительность  $T_i$  движения  $i$ -го автомобиля между рубежами контроля вычисляется как разность (1):

$$T_i = t_i^k - t_i^h. \quad (1)$$

Осреднение продолжительности  $T_{cp}$  движения автомобилей по исследуемому участку дороги в течение суток проводилось на временных интервалах продолжительностью  $\Delta$  с последовательным сдвигом этих интервалов на 1 минуту («скользящий» интервал осреднения) согласно выражению (2)

$$T_{cp}(t) = \frac{1}{n} \sum_{\tau \in [t-\Delta/2, t+\Delta/2]} T_i(\tau), \quad (2)$$

где  $t$  – время появления автомобиля на начальном рубеже;

$n$  – количество автомобилей, зафиксированных за период  $[t - \Delta/2, t + \Delta/2]$ .

Поскольку осредненные значения  $T_{cp}$  являются случайными величинами, для определения наличия транспортного затора целесообразно воспользоваться правилом «трех сигма», используемым в математической статистике:

$$T_{cp}^{уст} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m T_{cpj}; \quad (3)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (T_{cpj} - T_{cp}^{уст})^2}. \quad (4)$$

В качестве критерия превышения значением  $T_{cp}$  установленногося значения  $T_{cp}^{уст}$ , определяемого выражением (3) и указывающего на необходимость принятия мер по предотвращению образования транспортного затора, целесообразно использовать величины  $\sigma$ ,  $2\sigma$  и  $3\sigma$ , определяемые формулой (4) в ходе мониторинга транспортного потока:

$T_{cp} \leq T_{cp}^{уст} + \sigma$  – транспортный затор отсутствует;

$T_{cp} \leq T_{cp}^{уст} + 2\sigma$  – существует опасность формирования транспортного затора;

$T_{cp} \leq T_{cp}^{уст} + 3\sigma$  – необходимо предпринимать меры по предупреждению транспортного затора;

$T_{cp} > T_{cp}^{уст} + 3\sigma$  – сформировался транспортный затор.

#### Результаты и обсуждение

Представляется необходимым исследование возможности применения сформулированного критерия транспортного затора к различным видам пересечений. Объектами изучения выбраны пересечения двух типов: X-образное регулируемое пересечение (рис. 1 *а*) и кольцевое нерегулируемое пересечение (рис. 2 *б*)

Для каждого типа пересечений, с комплексов фотовидеофиксации были собраны данные о прошедших транспортных средствах. Для каждого из указанных на рисунках направлений были построены временные ряды продолжительности движения транспортных средств.



Рисунок 1 – X-образное пересечения улиц (г. Пермь): *а* – регулируемое; *б* – кольцевое;

стрелками и цифрами указаны направления движения;

разработано с использованием ресурсов 2GIS, ООО «ДубльГИС» [29]

На рисунке 1 *а* показано X-образное регулируемое пересечение трех улиц; стрелками и цифрами указаны анализируемые направления движения транспортных средств. Наблюдения за движением транспорта проводились с 1 по 29 мая 2022 года.

Рисунок 2 показывает, что для всех рассмотренных направлений и интервалов наблюдения имеет место длительные превышения пороговых величин  $T_{cp}^{уст} + 3\sigma$  пиковыми значениями осредненных продолжительностей  $T_{cp}$  на направлении 1 движения, а также непродолжительные превышения пороговых величин  $T_{cp}^{уст} + 3\sigma$  27 мая 2022 года на направлениях 2 и 3. Для всех направлений движения характерно наличие отдельных изолированно расположенных пиковых значений  $T_{cp}$ . Хотя такие изолированные значения  $T_{cp}$  превышают пороговые величины  $T_{cp}^{уст} + 3\sigma$ , они не могут быть квалифицированы в качестве длительных задержек движения значительного количества автомобилей, то есть не являются транспортными заторами.

Разработанный критерий позволил обнаружить транспортный затор продолжительностью около 150 мин (рис. 3 *а*), сформировавшийся при движении транспорта в первом направлении.

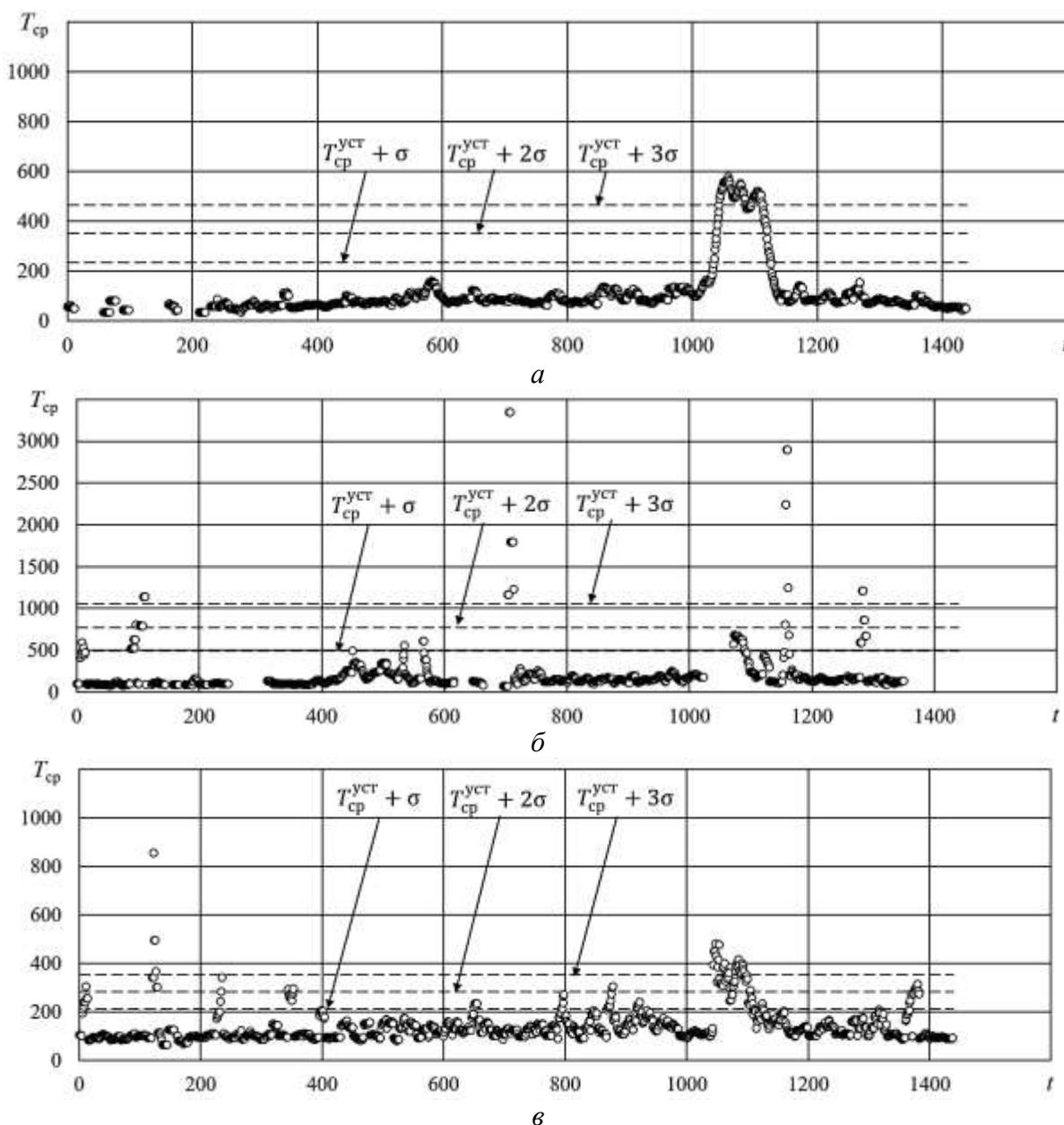


Рисунок 2 – Осредненные продолжительности  $T_{cp}$  (с) движения автомобилей: *а* – направление движения 1, *б* – направление движения 2, *в* – направление движения 3; данные за 27 мая 2022 года

Рассмотрение дорожной ситуации на X-образном регулируемом пересечении приводит к выводу о необходимости снижения остроты ситуации с загруженностью направления 1 путем изменения жесткого режима работы светофора или за счет применения технологии адаптивного регулирования на этом пересечении дорог.

На рисунке 1 б показано кольцевое пересечение трех улиц; стрелками и цифрами указаны анализируемые направления движения транспортных средств. Наблюдения за движением транспорта проводились с 15 января по 22 февраля 2023 года.

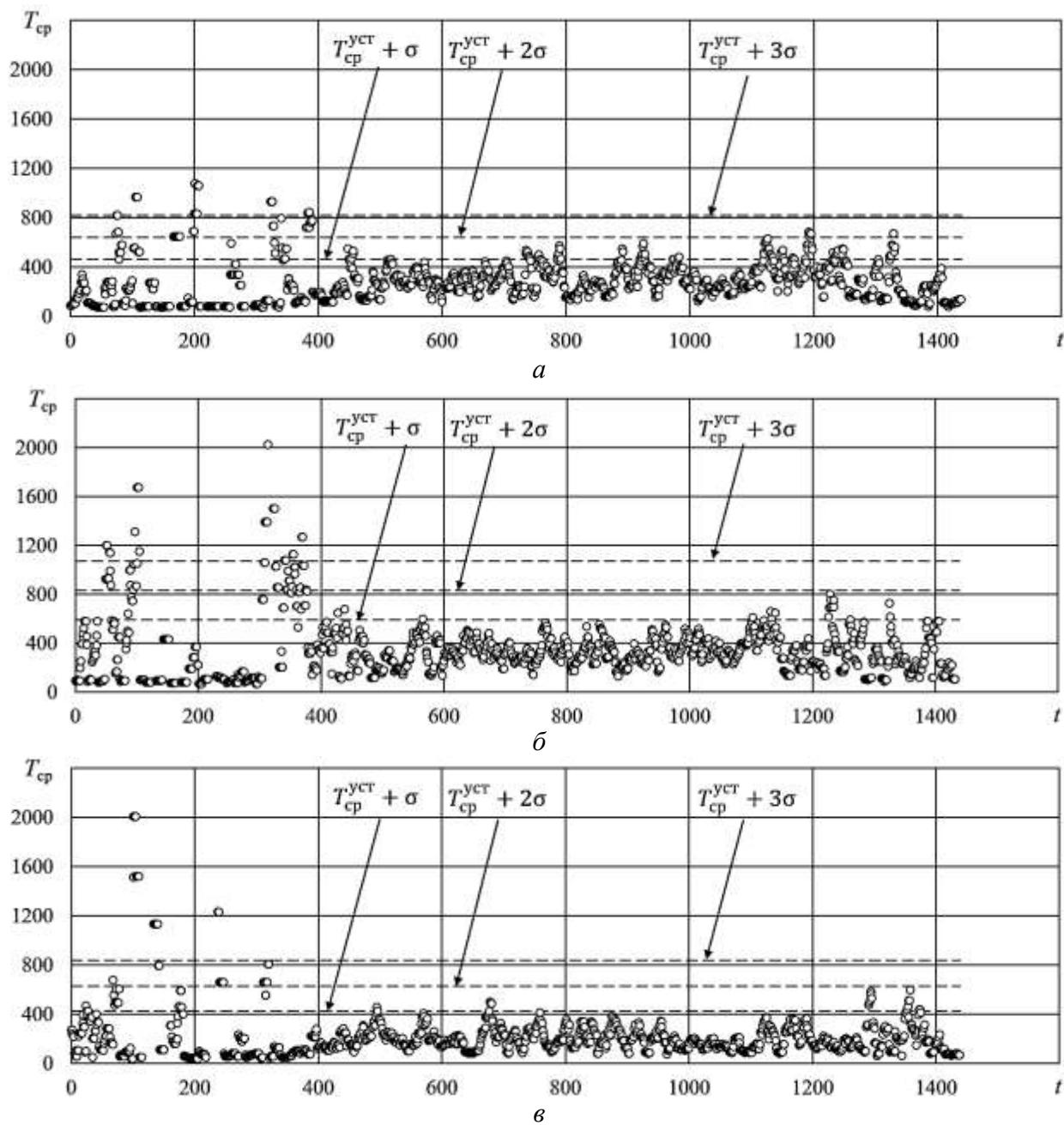


Рисунок 3 – Осредненные продолжительности  $T_{cp}$  (с) движения автомобилей: *a* – направление движения 1, *b* – направление движения 2, *c* – направление движения 3; данные за 21 февраля 2023 года

На рисунках 3 и 4 приведены данные о зависимостях от времени  $t$  наблюдения осредненных продолжительностей  $T_{cp}$  движения автомобилей в транспортном потоке на кольцевом пересечении в течение суток 21 февраля 2023 года. Анализ рисунков 4 и 5 показывает, что для всех направлений движения характерно изолированное расположение пиковых значений осредненной продолжительности  $T_{cp}$ . Это означает, что высокие значения  $T_{cp}$  не могут быть квалифицированы в качестве длительных задержек движения значительного количества

## №4-2(83) 2023 Безопасность движения и автомобильные перевозки

автомобилей, то есть как транспортные заторы. Таким образом, на кольцевом пересечении улиц транспортный затор 21 февраля 2023 года не зафиксирован.

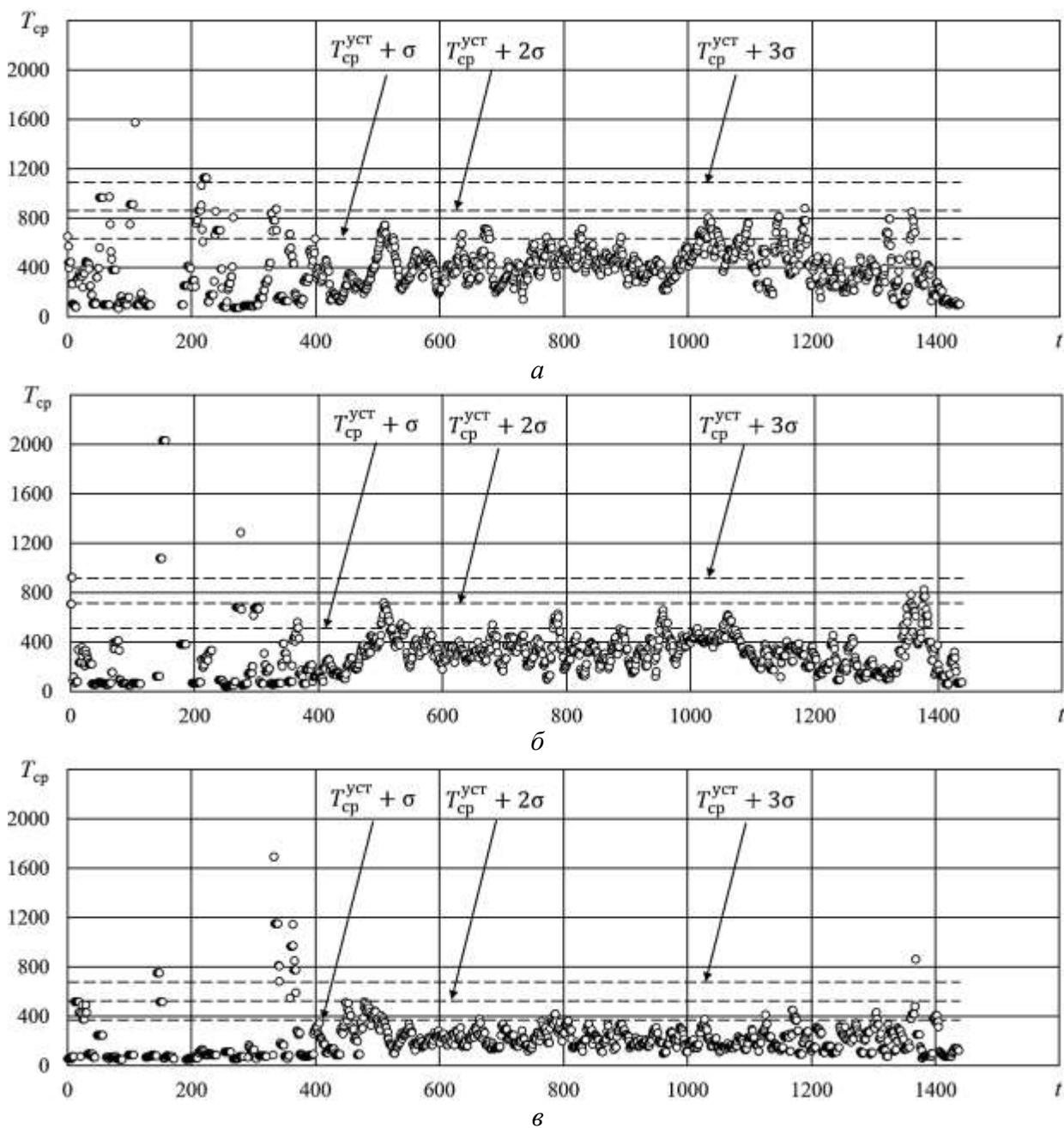


Рисунок 4 – Осредненные продолжительности  $T_{cp}$  (с) движения автомобилей: *a* – направление движения 4, *b* – направление движения 5, *c* – направление движения 6; данные за 21 февраля 2023 года

### Выходы

Данные, полученные с помощью программно-аппаратных комплексов фото- и видеофиксации нарушений правил дорожного движения, позволяют получать корректную информацию о времени появления и скорости движения каждого автомобиля в транспортном потоке в режиме реального времени. Установлено, что начало формирования транспортных заторов сопровождается увеличением средней продолжительности движения транспортных средств на исследуемом участке. Выполнен анализ распределений продолжительности движения автомобилей в транспортных потоках на X-образном регулируемом и кольцевом нерегулируемом типах пересечений.

Предложен критерий, позволяющий выполнять мониторинг образования заторов на дорогах, который также может служить основой для разработки механизма оценки в режиме

реального времени вероятности возникновения заторов на дорогах и формирования рекомендаций по реагированию дорожных служб услуги для их предотвращения и устранения. Представляется перспективным использование предложенного подхода с точки зрения разработки научно обоснованных средств прогнозирования и долгосрочного планирования, обоснования и принятия управлеченческих решений о превентивных мерах по устранению условий для образования транспортных заторов.

Предлагаемый способ мониторинга транспортных заторов является экономичным: основан на использовании существующей разветвленной сети аппаратно-программных комплексов для фиксации нарушений правил дорожного движения, установленных на городских улично-дорожных сетях как малых, так и крупных городов, и не требует значительных материальных затрат. Встраивание алгоритма обнаружения заторов на городских магистралях в программное обеспечение, используемое в службах дорожного движения, также не требует значительных затрат, и это делает разработанный метод рациональным и эффективным.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Владимиров С.Н. Транспортные заторы в условиях мегаполиса // Известия МГТУ МАМИ. – 2014. – Т.3. – №1(19). – С. 77-84.
2. Лобанов Е.М. Транспортная планировка городов. – М.: Транспорт, 1990. – 239 с.
3. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. – М.: Транспорт, 1972. – 424 с.
4. Евтеева А.С., Андреев К.П., Шемякин А.В., Терентьев В.В. Обследование городской транспортной сети с применением измерительного комплекса // Транспортное дело России. – 2018. – №1. – С. 132-134.
5. Kumar P., V. Kumar S., Priya L. Smart and Safety Traffic System for the Vehicles on the Road [Электронный ресурс] / IoT with Smart Systems. Smart Innovation, Systems and Technologies. Springer, Singapore. – 2023. – Vol. 312. – Режим доступа: [https://doi.org/10.1007/978-981-19-3575-6\\_51](https://doi.org/10.1007/978-981-19-3575-6_51).
6. Корнев А.В., Шабуров С.С. Транспортные заторы. Варианты решения проблемы // Молодежный вестник ИрГТУ. – 2021. – Т.11. – №1. – С. 58-63.
7. Щеголева Н.В., Гусев В.А., Ворожейкин М.А. Образование заторов в транспортном потоке // Техническое регулирование в транспортном строительстве. – 2016. – №5(19). – С. 25-28.
8. Xomidov A., Tursunboyev M. Eliminating congestion on internal roads [Электронный ресурс] / Universum: технические науки. – 2022. – №2(95). – Режим доступа: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/13079>. Accessed 20 November 2022.
9. Black W.R. Transportation: A geographical analysis. – New York: The Guilford Press, 2003. - 408 р.
10. Шамлицкий Я.И., Охота А.С., Мироненко С.Н. Сравнение адаптивного и жесткого алгоритмов управления дорожным движением на базе имитационной модели в среде ANYLOGIC // Программные продукты и системы. – 2018. – №2. – С. 403-408.
11. Sathiyaraj R., Bharathi A. An efficient intelligent traffic light control and deviation system for traffic congestion avoidance using multiagent system // Transport. – 2020. – Vol. 35. - №3. – Р. 327-335. – DOI: <https://doi.org/10.3846/transport.2019.11115>.
12. Басков В.Н., Игнатов А.В. Зависимость риска возникновения транспортного затора от параметров транспортного потока // Научно-методический электронный журнал Концепт. – 2015. – №Т35. – С. 1-5.
13. Андронов Р.В., Елькин Б.П., Гензэ Д.А. Понятие затора и формирование очередей на регулируемом пересечении в условиях плотного транспортного потока // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – №1. – С. 39-41.
14. Власов А.А., Горелов А.М. Управление светофорными объектами в условиях транспортных заторов // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2014. – №3(38). – С. 112-117.
15. Kazhaev A., Almetova Z., Shepelev V., Shubenkova K. Modelling urban route transport network parameters with traffic, demand and infrastructural limitations being considered // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2018. – №177. – Р. 012018. – DOI: 10.1088/1755-1315/177/1/012018.
16. Ласкин М.Б., Талавирия А.Ю. Оценка плотности транспортного потока на основе имитационного моделирования пункта взимания платы // Имитационное моделирование. Теория и практика: Материалы 10 Всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности (ИММОД-2021). - Санкт-Петербург: СПб. - 2021. – С. 272-278.
17. Басков В.Н., Красникова Д.А., Исаева Е.И. Влияние поведенческого фактора водителя на образование транспортного затора // Мир транспорта. – 2019. – Т. 17. – №4(83). – С. 272-281.
18. Shepelev V., Aliukov S., Nikolskaya K., Das A., Slobodin I. The use of multi-sensor video surveillance system to assess the capacity of the road network // Transport and Telecommunication. – 2020. – №21(1). – Р. 15-31. – DOI: 10.2478/ttj-2020-0002.
19. Aftabuzzaman Md. Measuring Traffic Congestion – A Critical Review [Электронный ресурс] / Proceedings of the 30th Australasian Transport Research Forum. - 2007. - 16 р. – Режим доступа: [https://australasiantransportresearchforum.org.au/wp-content/uploads/2022/03/2007\\_Aftabuzzaman.pdf](https://australasiantransportresearchforum.org.au/wp-content/uploads/2022/03/2007_Aftabuzzaman.pdf).
20. Ананьева Е.Ю. Информационные транспортные сервисы: инструмент преодоления заторов // Мир дорог. – 2021. – №139. – С. 102-104.

## №4-2(83) 2023 Безопасность движения и автомобильные перевозки

21. Shepelev V., Glushkov A., Almetova Z., Mavrin V. A study of the travel time of intersections by vehicles using computer vision // Proceedings of the 6th International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems. iMLTrans. – 2020. –Vol. 1. – P. 653–658. – DOI: 10.5220/0009806206530658.
22. Yasir R.M., Nower N., Shoyaib M. Traffic Congestion Prediction Using Machine Learning Techniques // arXiv:2206.10983 [cs.LG]. – 2020. – DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2206.10983>.
23. ГОСТ Р 55691-2013/ISO/TS 15624:2001. Системы управления и информации на транспорте. Системы оповещения о дорожных происшествиях (TIWS). Требования к системе. – Москва, Стандартинформ, 2014. – 24 с.
24. Boyarshinov M.G., Vavilin A.S. The deterministic component of the traffic flow intensity // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, International Conference: Actual Issues of Mechanical Engineering (AIME 2020). - Saint-Petersburg. – 2021. – 1111. – 012013(10 p). – DOI:10.1088/1757-899X/1111/1/012013.
25. Бояршинов М.Г., Вавилин А.С., Шумков А.Г. Использование комплекса фотовидеофиксации нарушений правил дорожного движения для выделения детерминированной и стохастической составляющих интенсивности транспортного потока // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2021. – №3. – С. 61-71. – DOI: 10.25198/2077-7175-2021-3-61.
26. Бояршинов М.Г., Вавилин А.С., Шумков А.Г. Фурье-анализ интенсивности транспортного потока // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2021. – №4. – С. 46-59. – DOI: 10.25198/2077-7175-2021-4-46.
27. Бояршинов М.Г., Вавилин А.С., Васькина Е.В. Применение показателя Хёрста для исследования интенсивности транспортного потока // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2022. – №2. - С. 68-81. – DOI: 10.25198/2077-7175-2021-2-68.
28. Бояршинов М.Г., Вавилин А.С., Васькина Е.В. Применение вейвлет-анализа для исследования интенсивности транспортного потока // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2022. – №4. – С. 72-87. - DOI: [doi.org/10.25198/2077-7175-2022-4-72](https://doi.org/10.25198/2077-7175-2022-4-72).
29. 2GIS [Электронный ресурс] / ООО «ДубльГИС». – Режим доступа: <https://2gis.ru/perm>.

### Бояршинов Михаил Геннадьевич

Пермский национальный исследовательский политехнический университет  
Адрес: 614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29  
Д.т.н., профессор, профессор кафедры «Автомобили и технологические машины»  
E-mail: mgboyarshinov@pstu.ru

### Вавилин Александр Сергеевич

Пермский национальный исследовательский политехнический университет  
Адрес: 614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29  
Аспирант  
E-mail: rickvavilin@gmail.com

## M.G. BOYARSHINOV, A.S. VAVILIN

### ANALYSIS OF THE DURATION OF MOVEMENT OF VEHICLES IN THE TRAFFIC FLOW ON ROADS WITH VARIOUS TYPES OF CROSSINGS

*Abstract.* This paper proposes a quantitative assessment (based on a formalized definition) of the formation and evolution of traffic congestion, using deterministic characteristics of a random variable - the duration of the movement of individual vehicles of the traffic flow between control lines: average value, mode, median, variance, standard deviation, coefficient of variation, indicators asymmetry and excess. The initial data were obtained with the help of hardware-software complexes for fixing violations of traffic rules installed on the city road network. It has been established that for the same section of the road, the nature of the evolution of the listed deterministic indicators of the duration of movement between the two control lines differs significantly in the free movement of road transport and in the case of a traffic jam. The performed study can serve as the basis for developing a mechanism for real-time assessment of the likelihood of traffic congestion, and can also be used to develop recommendations for the rapid response of transport services to prevent and eliminate them.

*Keywords:* traffic congestions, traffic flow, duration of movement, deterministic indicators of random variables

### BIBLIOGRAPHY

1. Vladimirov S.N. Transportnye zatory v usloviyakh megapolisa // Izvestiya MGTU MAMI. - 2014. - T.3. - №1(19). - S. 77-84.
2. Lobanov E.M. Transportnaya planirovka gorodov. - M.: Transport, 1990. - 239 s.
3. Dryu D. Teoriya transportnykh potokov i upravlenie imi. - M.: Transport, 1972. - 424 s.
4. Evteeva A.S., Andreev K.P., Shemyakin A.V., Terent'ev V.V. Obsledovanie gorodskoy transportnoy seti s primeneniem izmeritel'nogo kompleksa // Transportnoe delo Rossii. - 2018. - №1. - S. 132-134.
5. Kumar P., V. Kumar S., Priya L. Smart and Safety Traffic System for the Vehicles on the Road [Elektronnyy resurs] / IoT with Smart Systems. Smart Innovation, Systems and Technologies. Springer, Singapore. - 2023. - Vol. 312. - Rezhim dostupa: [https://doi.org/10.1007/978-981-19-3575-6\\_51](https://doi.org/10.1007/978-981-19-3575-6_51).
6. Kornev A.V., Shaburov S.S. Transportnye zatory. Varianty resheniya problemy // Molodezhnyy vestnik IrGTU. - 2021. - T.11. - №1. - S. 58-63.
7. Shchegoleva N.V., Gusev V.A., Vorozheykin M.A. Obrazovanie zatorov v transportnom potoke // Tekhnicheskoe regulirovaniye v transportnom stroitel'stve. - 2016. - №5(19). - S. 25-28.

8. Xomidov A., Tursunboyev M. Eliminating congestion on internal roads [Elektronnyy resurs] / Universum: tekhnicheskie nauki. - 2022. - №2(95). - Rezhim dostupa: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/13079>. Accessed 20 November 2022.
9. Black W.R. Transportation: A geographical analysis. - New York: The Guilford Press, 2003. - 408 p.
10. Shamlitskiy Ya.I., Okhota A.S., Mironenko S.N. Sravnenie adaptivnogo i zhestkogo algoritmov upravleniya dorozhnym dvizheniem na baze imitatsionnoy modeli v srede ANYLOGIC // Programmnye produkty i sistemy. - 2018. - №2. - S. 403-408.
11. Sathiyaraj R., Bharathi A. An efficient intelligent traffic light control and deviation system for traffic congestion avoidance using multiagent system // Transport. - 2020. - Vol. 35. - №3. - P. 327-335. - DOI: <https://doi.org/10.3846/transport.2019.11115>.
12. Baskov V.N., Ignatov A.V. Zavisimost` risika vozniknoveniya transportnogo zatora ot parametrov transportnogo potoka // Nauchno-metodicheskiy elektronnyy zhurnal Kontsept. - 2015. - №T35. - S. 1-5.
13. Andronov R.V., El`kin B.P., Genze D.A. Pomyatie zatora i formirovanie ocheredey na reguliruemom pereschenii v usloviyakh plotnogo transportnogo potoka // Nauchno-tehnicheskiy vestnik Povolzh`ya. - 2015. - №1. - S. 39-41.
14. Vlasov A.A., Gorelov A.M. Upravlenie svetofornymi ob"ektami v usloviyakh transportnykh zatorov // Vestnik Moskovskogo avtomobil`no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI). - 2014. - №3(38). - S. 112-117.
15. Kazhaev A., Almetova Z., Shepelev V., Shubenkova K. Modelling urban route transport network parameters with traffic, demand and infrastructural limitations being considered // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2018. - №177. - R. 012018. - DOI: 10.1088/1755-1315/177/1/012018.
16. Laskin M.B., Talavirya A.Yu. Otsenka plotnosti transportnogo potoka na osnove imitatsionnogo modelirovaniya punkta vzmianiya platy // Imitatsionnoe modelirovanie. Teoriya i praktika: Materialy 10 Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii po imitatsionnomu modelirovaniyu i ego primeneniyu v naуke i promyshlennosti (IMMOD-2021). - Sankt-Peterburg: SPb. - 2021. - S. 272-278.
17. Baskov V.N., Krasnikova D.A., Isaeva E.I. Vliyanie povedencheskogo faktora voditelya na obrazovanie transportnogo zatora // Mir transporta. - 2019. - T.17. - №4(83). - S. 272-281.
18. Shepelev V., Aliukov S., Nikolskaya K., Das A., Slobodin I. The use of multi-sensor video surveillance system to assess the capacity of the road network // Transport and Telecommunication. - 2020. - №21(1). - P. 15-31. - DOI: 10.2478/ttj-2020-0002.
19. Aftabuzzaman Md. Measuring Traffic Congestion - A Critical Review [Elektronnyy resurs] / Proceedings of the 30th Australasian Transport Research Forum. - 2007. - 16 p. - Rezhim dostupa: [https://australasiantransportresearchforum.org.au/wp-content/uploads/2022/03/2007\\_Aftabuzzaman.pdf](https://australasiantransportresearchforum.org.au/wp-content/uploads/2022/03/2007_Aftabuzzaman.pdf).
20. Anan`eva E.Yu. Informatsionnye transportnye servisy: instrument preodoleniya zatorov // Mir dorog. - 2021. - №139. - S. 102-104.
21. Shepelev V., Glushkov A., Almetova Z., Mavrin V. A study of the travel time of intersections by vehicles using computer vision // Proceedings of the 6th International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems. iMLTrans. - 2020. -Vol. 1. - P. 653-658. - DOI: 10.5220/0009806206530658.
22. Yasir R.M., Nower N., Shoyaib M. Traffic Congestion Prediction Using Machine Learning Techniques // arXiv:2206.10983 [cs.LG]. - 2020. - DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2206.10983>.
23. GOST R 55691-2013/ISO/TS 15624:2001. Sistemy upravleniya i informatsii na transporte. Sistemy opovedcheniya o dorozhnykh proisshestviyakh (TIWS). Trebovaniya k sisteme. - Moskva, Standartinform, 2014. - 24 s.
24. Boyarshinov M.G., Vavilin A.S. The deterministic component of the traffic flow intensity // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, International Conference: Actual Issues of Mechanical Engineering (AIME 2020). - Saint-Petersburg. - 2021. - 1111. - 012013(10 p.). - DOI: 10.1088/1757-899X/1111/1/012013.
25. Boyarshinov M.G., Vavilin A.S., Shumkov A.G. Ispol`zovanie kompleksa fotovideofiksatsii narusheniy pravil dorozhnogo dvizheniya dlya vydeleniya determinirovannoy i stokhasticheskoy sostavlyayushchikh intensivnosti transportnogo potoka // Intellekt. Innovatsii. Investitsii. - 2021. - №3. - S. 61-71. - DOI: 10.25198/2077-7175-2021-3-61.
26. Boyarshinov M.G., Vavilin A.S., Shumkov A.G. Fur`e-analiz intensivnosti transportnogo potoka // Intellekt. Innovatsii. Investitsii. - 2021. - №4. - S. 46-59. - DOI: 10.25198/2077-7175-2021-4-46.
27. Boyarshinov M.G., Vavilin A.S., Vas`kina E.V. Primenenie pokazatelya Hiorsta dlya issledovaniya intensivnosti transportnogo potoka // Intellekt. Innovatsii. Investitsii. - 2022. - №2. - S. 68-81. - DOI: 10.25198/2077-7175-2021-2-68.
28. Boyarshinov M.G., Vavilin A.S., Vas`kina E.V. Primenenie veyvlet-analiza dlya issledovaniya intensivnosti transportnogo potoka // Intellekt. Innovatsii. Investitsii. - 2022. - №4. - S. 72-87. - DOI: [doi.org/10.25198/2077-7175-2022-4-72](https://doi.org/10.25198/2077-7175-2022-4-72).
29. 2GIS [Elektronnyy resurs] / OOO «Dubl`GIS». - Rezhim dostupa: <https://2gis.ru/perm>.

**Boyarshinov Mikhail Gennadievich**

Perm National Research Polytechnic University  
Address: 614990, Russia, Perm, Komsomolsky prospect  
Doctor of technical sciences  
E-mail: mgboyarshinov@pstu.ru

**Vavilin Alexander Sergeevich**

Perm National Research Polytechnic University  
Address: 614990, Russia, Perm, Komsomolsky prospect  
Postgraduate student  
E-mail: rickvavilin@gmail.com

Научная статья

УДК 656.13

doi:10.33979/2073-7432-2023-4-2(83)-44-52

Д.Г. НЕВОЛИН, А.А. ЦАРИКОВ

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СКОРОСТИ СООБЩЕНИЯ ТРАНСПОРТА В КРУПНЕЙШИХ ГОРОДАХ РОССИИ

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследования скорости сообщения транспорта в городе Екатеринбурге в пиковые периоды времени, с учетом разделения территории на километровые зоны и отдельные сектора. Исследования показали, как меняется средняя скорость сообщения транспорта по мере движения от центра города к его периферийным районам. Исследования позволили выявить наиболее проблемные участки на улично-дорожной сети города Екатеринбурга. Предложенная методика позволяет сравнивать скорости сообщения транспорта в различных городах и в различные часы суток.

**Ключевые слова:** скорость сообщения, городской транспорт, информационные технологии, пространственные анализы

### **Введение**

Информационные системы и технологии, все глубже входят в жизнь каждого человека в нашей стране, и затрагивают практически все сферы его деятельности. Не являются исключением в данной тенденции транспортные системы. При этом, чем глубже информационная система «погружена» в процесс перевозки пассажиров или грузов, тем более эффективно может работать та или иная транспортная система [1].

С помощью информационных систем производится измерение реальной мгновенной скорости движения транспорта [2], осуществляется контроль скоростного режима на опасных и аварийных участках [3], а также выполняется оценка загрязнения воздуха транспортными средствами в процессе их эксплуатации [4, 5]. Если 20-30 лет назад, по многим направлениям деятельности транспортных систем осуществлялся поверхностный или выборочный контроль, то сейчас эти направления можно закрывать на 100 %. Особенно далеко информационные системы продвинулись в направлении контроля за нарушениями правил дорожного движения [6, 7]. Однако наиболее интересным направлением в развитии информационных систем, можно считать измерение скорости сообщения транспорта.

Необходимо отметить, что измерению скорости сообщения транспорта удалено достаточно много внимания в отечественной и зарубежной литературе [8-10]. В большей мере данные работы учитывают скорость движения на выездах с автомагистрали [11], на подходах к перекрестку [12], или перед пешеходным переходом [13].

Вместе с этим мало изученным остается вопрос изменение скорости сообщения транспорта в пространстве. Особенно интересен данный вопрос в свете борьбы с транспортными заторами в крупных и крупнейших городах Российской Федерации [14].

### **Материал и методы**

В советский период времени, транспортные исследования проводились периодически и были направлены на решение основных проблем в развитии улично-дорожной сети и организации дорожного движения. Одним из направлений исследований на тот момент, было исследование ходовой скорости движения на улично-дорожной сети города. Для данного исследования использовали специальные лаборатории или автомобили, оснащенные приборами учета скорости на местности. Лаборатории в процессе движения по маршруту регистрировали скорость движения через интервалы равные 1 секунде. По окончанию обследования маршрута, накопленная информация выгружалась и обрабатывалась. Более подробно данные метод описан в источнике [15].

Как видно из описания метода исследования, для получения данных о скорости движения транспорта на всей улично-дорожной сети города, требовалось достаточно большое количество времени и материальных ресурсов. При этом исследование ходовой скорости движения проводились только в отдельные часы, например в утренний или вечерний час пик. Подобная ситуация не могла отразить общую ситуацию в течение суток, а тем более в течение всей рабочей недели.

Современные информационные ресурсы, такие как «Яндекс пробки», позволяют более точно, с наименьшими затратами времени оценивать пространственную скорость движения транспорта на всей улично-дорожной сети. При этом можно оценивать скорость движения не только в течение любого дня недели, но и в любые месяцы года, особенно после в период снегопадов или при закрытии движения.

Необходимо напомнить, что «Яндекс» собирает информацию о средней скорости движения транспорта со смартфонов водителей, у которых запущена программа «Яндекс. Навигатор» или «Яндекс. Карты» с включённым режимом «Сообщать о пробках». Информация представляет собой GPS-координаты и время движения автомобиля в пространстве. Аналогичные данные Яндекс получает от своих партнеров, компаний, обладающих парком автомобилей, оборудованных GPS-приёмником и модемом.

На основе массива данных, полученных из различных источников, в информационном ресурсе «Яндекс пробки» строятся графические схемы улично-дорожной сети городов с указанием скорости движения на том или ином участке. При этом скорость сообщения на сети указывается в виде цветограммы. То есть цифровое значение скорости заменяется цветами – красным, желтым, зеленым и т.д.

Сам по себе информационный ресурс «Яндекс пробки» достаточно интересен, с точки зрения оценки скорости сообщения. Однако в том виде, в котором он размещен на сайте, невозможно оценить пространственную скорость движения транспорта. Учитывая данный факт, авторы статьи предложили формализовать данные ресурса в несколько иной вид.

В литературе [16, 17], для графического анализа, пространство населенного пункта или транспортной системы предлагается разделять на условные квадраты, шестиугольники, эллипсы или окружности. Подобное деление позволяет получить определенные закономерности, которые в дальнейшем позволят решать проблемы транспортной системы. В нашем случае, для оценки скорости движения в пространстве, наиболее подходящим является способ деления города на окружности.

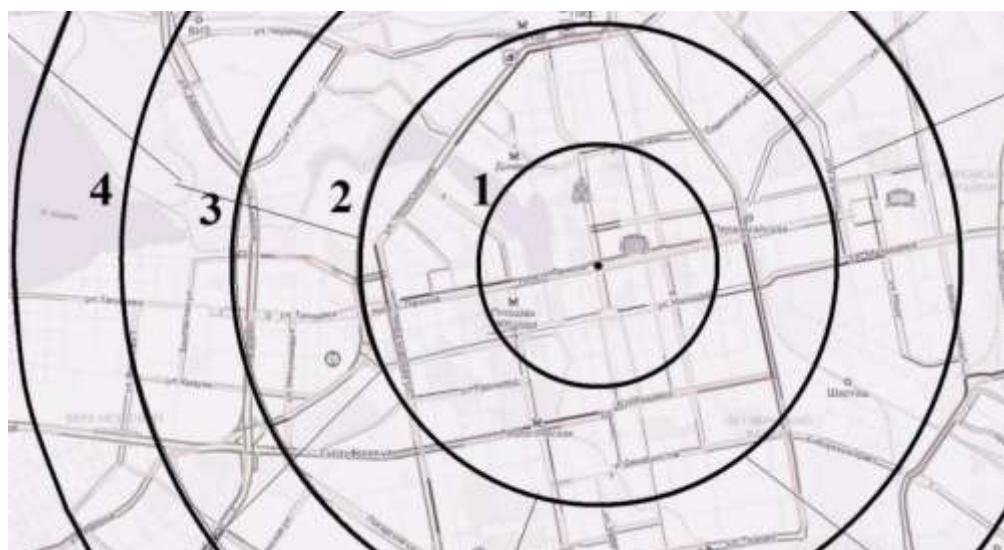


Рисунок 1 – Схема разделения территории города Екатеринбурга на отдельные километровые зоны (фрагмент)

В рамках данной работы, всю территорию города Екатеринбурга разделили с помощью окружностей на километровые зоны. При этом за центральную точку города был при-

нят территориальный центр населенного пункта (рис. 1). Подобные и аналогичные модели неоднократно применялись в транспортной науке для оценки различных параметров [18-20].

Кроме того, территорию города условно разделили на 6 условных секторов, которые позволяют оценивать изменение скорости в том или ином районе по мере удаления от центра.

Для каждой отдельной территории города, разделенной секторами и километровыми зонами, была проведена оценка скорости сообщения. При этом для оценки, был выбран вечерний час пик, который наблюдается в Екатеринбурге с 18.0 до 19.00.

Оценка скорости сообщения, проводилась отдельно для каждого участка улицы с точки зрения ее скорости и протяженности в конкретном секторе. Например, протяженность улицы Ленина (в первой километровой зоне) в сторону центра составляет 1 километр, при этом на ней зафиксировано два отдельных участка. Один протяженностью 700 метров, средняя скорость на котором составляет 5 км/ч, второй протяженностью 300 метров, скорость на котором составляет 12,5 км/ч. На рисунке 2 представлен пример определения скорости сообщения  $i$ -го участка сети и его протяженности.

Для определения средней скорости сообщения отдельных территорий Екатеринбурга, например первой километровой зоны, были проведены соответствующие расчеты. Для этого использовалась следующая формула:

$$V_{cp1} = \frac{\sum L_i V_i}{L_1}, \quad (1)$$

где  $V_{cp1}$  – средняя скорость сообщения 1-й километровой зоны, км/ч;

$L_i$  – протяженность  $i$ -го участка улично-дорожной сети, км;

$V_i$  – скорость сообщения  $i$ -го участка улично-дорожной сети, км/ч;

$L_1$  – протяженность всех улиц и дорог 1-й километровой зоны в двух направлениях, км.

Аналогичным образом производился расчет по другим километровым зонам и секторам города Екатеринбурга.

### Теория / Расчет

Полученные в результате расчета данные позволили оценить изменение скорости сообщения транспорта, в городе Екатеринбурге по мере удаления от центра к периферии. При этом можно отдельно понять как скорость движения в центр города, так и в обратном направлении (рис. 3).

Как видно из рисунка 3, в 1-й километровой зоне города Екатеринбурга, средняя скорость сообщения транспорта в вечерний час пик составляет 16 км/ч. Примечательно, что скорость движения в сторону центра и в сторону периферии практически совпадают. Фактически данная зона является реальной исторической частью города, в которой выравниваются объемы транспортных корреспонденций от одних периферийных районов к другим.

Вторая километровая зона, в значительной мере отличается от первой по скорости сообщения транспорта. Именно во второй километровой зоне города Екатеринбурга, наблюдаются основные проблемы с движением транспорта и именно в ней образуются заторы.

Из рисунка 3 видно, что средняя скорость из центра города в сторону периферии составляет 13,4 км/ч. В обратном направлении скорость в 1,5 раза выше и составляет 17 км/ч. Любопытно, что средняя скорость в обоих направлениях, именно во 2-й километровой зоне минимальна и составляет 15,2 км/ч.

Дальнейшее движение от центральной части города (от 1-й километровой зоны), в

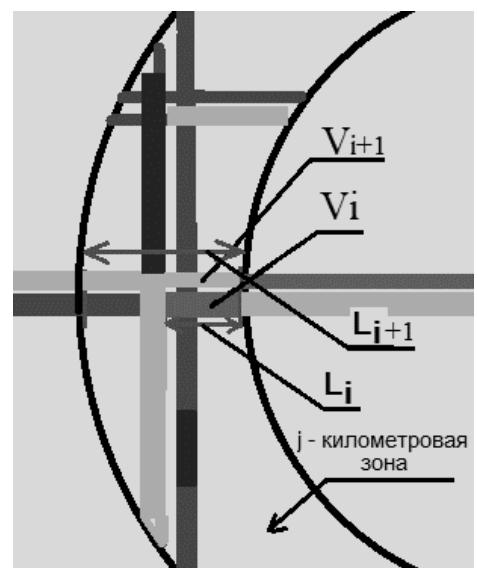


Рисунок 2 – Пример оценки скорости сообщения внутри отдельной  $j$ -й километровой зоны

сторону периферийных районов, показало, что средняя скорость сообщения транспорта постепенно растет. И если в 3-й километровой зоне, средняя скорость сообщения транспорта составляет 16,4 км/ч, то в 8-й километровой зоне она достигает значения 21,6 км/ч. Однако наибольшая скорость движения транспорта отмечена в 9-й километровой зоне, где она составила 27,1 км/ч.

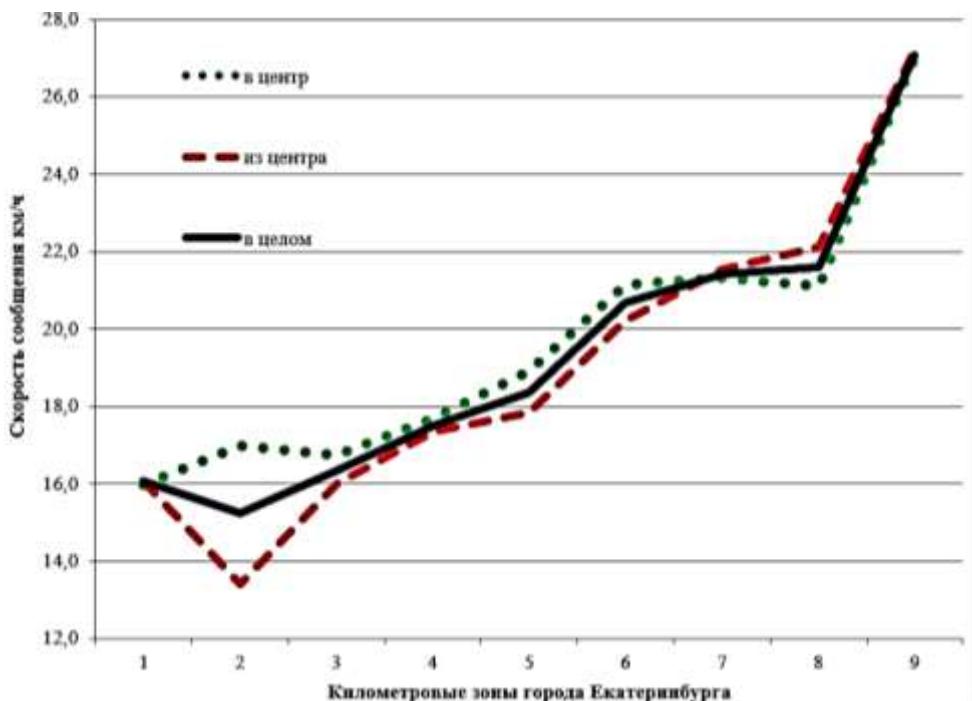


Рисунок 3 – Средняя скорость сообщения транспорта по отдельным километровым зонам города Екатеринбурга при движении в центр, из центра и в целом по городу

Высокая скорость сообщения в 8-й и 9-й километровых зонах обусловлены не только снижением загрузки улично-дорожной сети транспортом, но и появлением скоростных автодорог на этих территориях. Которые фактически являются внешними автодорогами, связывающими Екатеринбург с другими городами области и страны.

Необходимо отметить, что начиная с 3-й километровой зоны, скорость движения транспорта в сторону центра и от него практически выравниваются. Однако транспортные заторы в городе Екатеринбурге можно наблюдать в любых километровых зонах, включая 8-ую и 9-ую. Причем эти заторы образуются как в сторону центра, так и в сторону периферии. Объяснить данный факт можно только одним. В борьбе с заторами на улично-дорожной сети, центр организации движения города Екатеринбурга, организовал движения на перекрестках так, чтобы степень насыщения со всех направлениях составляла примерно равные значения. То есть длительность разрешающих тактов наиболее загруженных направлений (например, из центра), увеличивалась за счет тактов наименее загруженных направлений (в центр). Поэтому несмотря на интенсивность движения, заторы на периферийных узлах могли образовываться искусственно, для того чтобы увеличить пропускную способность более интенсивных направлений.

Стоит отметить, что аналогичные исследования, проведенные по городам Германии в конце 50-х годов, показали схожие по закономерностям данные. Так в Мюнхене и Дюссельдорфе скорость в 1-й километровой зоне была в 2 раз ниже, чем в 6-й километровой зоне, которая была на тот момент окраиной данных городов [21].

Как указывалось выше, территория города Екатеринбурга была поделена не только на километровые зоны, но и на отдельные сектора. Данное деление и оценка скорости сообщения в них, позволило построить цветограмму, которая представлена на рисунке 4.

Как видно из рисунка 3, Сектор Б (Эльмаш и Пионерский) отличается достаточно стабильной скоростью сообщения по мере удаления от центра к периферии. Если в 1-й кило-

#### №4-2(83) 2023 Безопасность движения и автомобильные перевозки

метровой зоне данного сектора, скорость составляет 16 км/ч, то по мере движения к 9-му сектору, он вырастает незначительно, всего до 19,3 км/ч. Иными словами скорость движения в секторе Б, отличается всего на 30 %.

Аналогичная ситуация наблюдается в секторе Д. Данный сектор включает в себя улицы и дороги районов Академический и Юго-западный. Здесь также скорость растет от центра к периферии, с 15,2 км/ч до 19,8 км/ч.

Сектора Б и Д, можно назвать наиболее проблемными в городе Екатеринбурге, из которых добираться до центра наиболее сложно, с точки зрения времени и затрат. В данных секторах нет скоростных автомобильных дорог, движение по которым осуществлялось бы через транспортные развязки в разных уровнях.

Сектор В включает в себя такие районы Екатеринбурга как Синие камни, ЖБИ, Сибирский тракт, Птицефабрика. Данный сектор, с точки зрения скорости сообщения значительно отличается от секторов Б и Д. По мере удаления от центра, в секторе В, скорость постепенно растет и достигает 20 км/ч в 5-й километровой зоне. Затем плотная жилая застройка постепенно исчезает, и на пути следования появляются отдельные разрозненные микрорайоны. Снижение плотности застройки в значительной мере увеличивает скорость сообщения и в 6-й и 7-й километровых зонах она достигает значения 28 км/ч.

Дальнейшее удаление от центра города в секторе В, приводит не только к снижению плотности населения, но и увеличивает протяженность скоростных автодорог. Поэтому в 8-й и 9-й километровых зонах, скорость сообщения транспорта достигает значения в 40 км/ч. То есть скорость движения в секторе В, увеличивается в 2,5 раза, по мере движения от центра к периферии.

Наличие скоростных автомобильных дорог, а также улиц общегородского значения с большим числом полос и высокой пропускной способностью, значительно изменяют транспортные корреспонденции района. Владельцы автомобилей при передвижении от центра города на периферию и обратно, невольно будут искать наиболее быстрые пути сообщения. Именно наличие скоростных дорог, позволяет им объезжать наиболее нагруженные направления, что непременно сказывается на средней скорости сообщения в том или ином районе города.

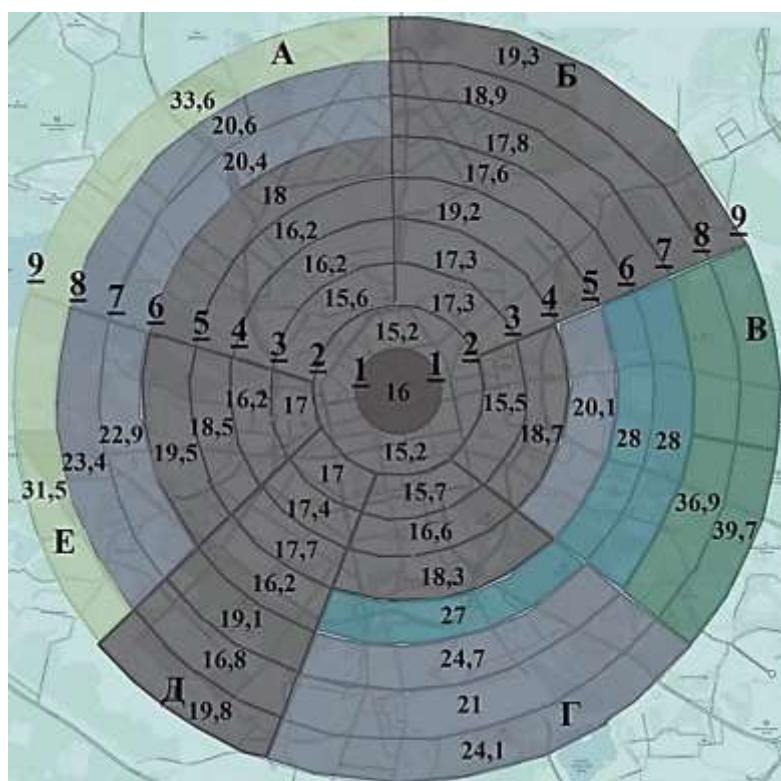


Рисунок 4 – Предлагаемая последовательность расчета тактов и циклов светофорного регулирования с учетом проверки размещающих сигналов по условиям пешеходного движения

Проведенные авторами исследования позволили оценить скорость сообщения транспорта не только по километровым зонам и секторам, но и по отдельным участкам. Для этого все участки улично-дорожной сети города Екатеринбурга были разделены на отдельные группы по скорости сообщения. В первую группу были внесены участки со скоростью менее 10 км/ч, во вторую от 10 до 20 км/ч и так далее.

Разделенные по группам участки улично-дорожной сети были учтены с точки зрения их общей протяженности в километрах. Кроме того были проведены расчеты доли отдельных групп, в общей структуре улично-дорожной сети Екатеринбурга (табл. 1).

Как видно из таблицы 1, в городе Екатеринбурге, в вечерний час пик, на участках протяженностью 21,4 километра скорость сообщения составляет менее 10 км/ч. Общая доля таких участков составляет 3 % от общей протяженности магистральной улично-дорожной сети. По своей сути, эти участку необходимо отнести к категории улиц, где наблюдаются наиболее тяжелые заторы.

Участки скорость сообщения, на которых составляет от 10 до 20 км/ч, имеют общую протяженность 489,9 километра. Данную группу необходимо отнести к наиболее многочисленной, ее доля составляет 68,8 % от общей протяженности улично-дорожной сети города. Примечательно, что именно на данных участках образуются заторы различной протяженности. К ним также можно отнести узлы с насыщенным движением транспорта.

Таблица 1 – Распределение скорости сообщения на улично-дорожной сети города Екатеринбурга

Скорость сообщения	Протяженность участков, км	Протяженность участков, %
до 10 км/ч	21,4	3%
10-20 км/ч	489,9	68,8%
20-30 км/ч	154,8	21,7%
30-40 км/ч	31	4,4%
40-60 км/ч	12,4	1,7%
более 60 км/ч	3	0,4%

На основе данных таблицы 1, авторы построим кривые распределения протяженности участков улично-дорожной сети, по скорости сообщения. Как видно из рисунка 5, кривая распределения скорости сообщения носит характер логнормальной кривой. Это означает, что протяженность участков сети имеющих скорость от 10 до 20 км/ч составляет максимум от всех групп распределения. По мере роста скорости сообщения, доля протяженности участков данной группы постепенно снижается.

Общий расчет показал, что средняя скорость сообщения на магистральной улично-дорожной сети города Екатеринбурга, в вечерний час пик составляет 19,5 км/ч. При этом скорость сообщения в центральной, исторической части города ниже средней скорости по городу всего на 20 %. То есть в городе Екатеринбурге, транспортные проблемы наблюдаются не только в центральной части города, но и в срединных районах, а также на периферии.

### ***Результаты и обсуждение***

В данной статье рассмотрена методика пространственной оценки скорости сообщения транспорта на улично-дорожной сети города Екатеринбурга. Данная методика позволяет оценить изменение скорости сообщения транспорта по отдельным километровым зонам от центра к периферии, а также по отдельным секторам. Материалы данной статьи могут быть использованы инженерами и специалистами производящие работы по разработке документов транспортного планирования. Такие как Комплексная схема организации дорожного движения, Программа комплексного развития транспортной инфраструктуры, транспортный разделе генерального плана.

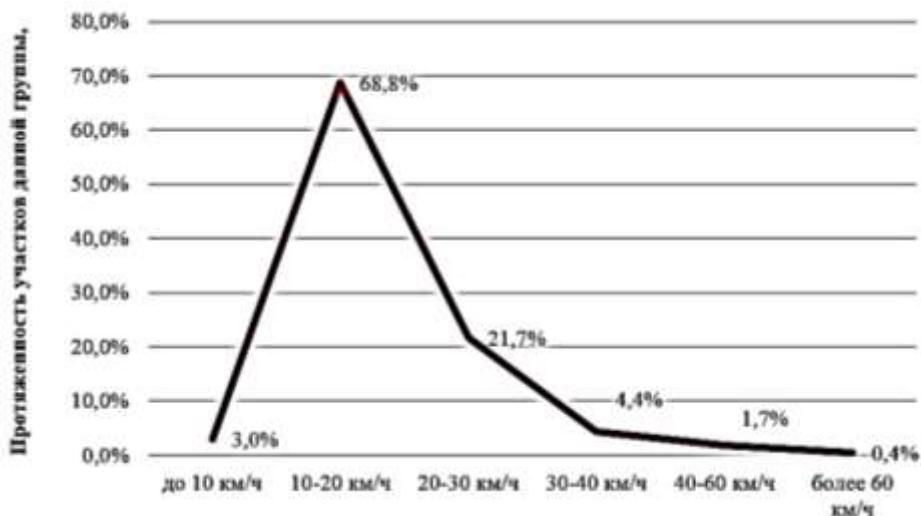


Рисунок 5 – Распределение скорости сообщения транспорта по городу Екатеринбургу

### Выводы

Дальнейшие исследования пространственной скорости сообщения транспорта необходимо проводить по другим городам Российской Федерации. Данные исследования позволяют сравнивать данные о скорости сообщения в городах различной формы освоения территории, различной численности населения, а также сравнивать скорость при разных распределениях доли поездок между общественным и индивидуальным транспортом.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрианов В.Ю. Геоинформационные системы для транспорта и коммуникаций // Т-Comm. - 2010. – С. 44-47.
2. Тимофеев Б.С., Мотыко А.А. Измерение скоростей автомобилей путей анализа видеопоследовательности // Информационно-управляющие системы. – 2012. - №1. – С. 2-7.
3. Мокарецкий Е., Овчинников А., Нгуен Л.Х. Телевизионные измерительные системы контроля скоростного режима дорожного движения // Компоненты и технологии. – 2007. - №4. – С. 34-37.
4. Ложкин В.Н., Ложкина О.В., Пенченков А.Ю. Применение геоинформационных систем для экологического контроля городского транспорта // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». - 2016. - №4. - С. 42-51.
5. Ложкин В.Н., Ложкина О.В. Информационная технология прогноза чрезвычайного загрязнения воздуха отработавшими газами судов и автотранспорта // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2017. – Т. 13. - №1. – С. 222-227.
6. Климова Д.В. Иностранный и отечественный опыт профилактики дорожно-транспортных происшествий с использованием систем автоматической фиксации правонарушений // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Юридические науки. – 2021. – Т. 7 (73). - №2 – С.237-243.
7. Алейников Д.П., Зык А.В. Использование специальных средств фото- и видеофиксации в целях профилактики дорожно-транспортных происшествий в Иркутской области // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2021. – №2(70). – С. 75-84.
8. Кисляков В.М., Филиппов В.В., Школяренко А.М. Математическое моделирование и оценка условий движения автомобилей и пешеходов. – М.: Транспорт, 1979. – 200 с.
9. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организация движения. – М.: Транспорт, 1977. – 303 с.
10. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков. – М.: МИР, 1966. – 286 с.
11. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. – Изд-во: Транспорт, 1972. – 424 с.
12. Врубель Ю.А. Исследования в дорожном движении: Учебно-методическое пособие. – Минск: БНТУ, 2007. – 178 с.
13. Кот Е.Н., Капский Д.В., Коржова А.В. Технические средства организации дорожного движения // Учебный материал. – Минск: Новое знание. – 2017. – 237 с.
14. Захаров В.В., Крылатов А.Ю. Современные проблемы использования интеллектуальной базы математического моделирования при борьбе с затормозами в крупных городах России // Транспорта Российской Федерации. – 2014. - №4(53). – С. 69-73.

15. Клинковштейн Г.И., Афанасьев М.Б. Организация дорожного движения: Учебник для вузов. – М.: Транспорт, 2001 – 247 с.
16. Графоаналитический метод в градостроительных исследованиях и проектировании / А.М. Якшин, Т.М. Говоренкова, М.И. Каган и др. – М.: Страйиздат, 1979. – 204 с.
17. Системный анализ и проблемы развития городов / Ю.С. Попков, М.В. Порохин, А.Э. Гутнов, Б.Л. Шмульян. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 512 с.
18. Цариков А.А., Обухова Н.А. Пространственная неравномерность развития и загрузки улично-дорожной сети городов Свердловской области // Современные проблемы транспортного комплекса России. – Т. 6. - №2. - 2016. - Магнитогорск: МГТУ. - С. 4-7.
19. Цариков А.А., Обухова Н.А. Оценка пространственного развития и загруженности улично-дорожной сети города Нижний Тагил // Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов: Сборник научных трудов. – Вып. 8. Безопасность дорожного движения. – Минск: БНТУ. - 2016. - С.369-377.
20. Цариков А.А., Обухова Н.А. Оценка пространственного развития и загрузки улично-дорожной сети городов Среднего Урала // Социально-экономические проблемы развития и функционирования транспортных систем городов и зон их влияния: Материалы XXI Международной (двадцать четвертной Екатеринбургской) научно-практической конференции. – Екатеринбург: АМБ. - 2015. - С. 264-270.
21. Поляков А.А. Организация движения на улицах и дорогах. – М.: Транспорт, 1965. – 376 с.

**Неволин Дмитрий Германов**

Уральский государственный университет путей сообщения  
Адрес: 620034, Россия, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66  
Д.т.н., профессор кафедры «Проектирование и эксплуатация автомобилей»  
E-mail: innotrans@mail.ru

**Цариков Алексей Алексеевич**

Уральский государственный университет путей сообщения  
Адрес: 620034, Россия, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66  
К.т.н., доцент кафедры «Проектирование и эксплуатация автомобилей»  
E-mail: Zarikof@mail.ru

---

D.G. NEVOLIN, A.A. TSARIKOV

**THE USE OF INFORMATION TECHNOLOGIES TO STUDY  
THE SPATIAL SPEED OF TRANSPORT COMMUNICATION  
IN THE LARGEST CITIES OF RUSSIA**

**Abstract.** The article presents the results of a study of the speed of transport communication in the city of Yekaterinburg during peak periods of time, taking into account the division of the territory into kilometer zones and separate sectors. Studies have shown how the average speed of transport changes as you move from the city center to its peripheral areas. The research allowed us to identify the most problematic areas on the street and road network of the city of Yekaterinburg. The proposed method allows you to compare the speed of transport in different cities and at different hours of the day.

**Keywords:** speed of communication, urban transport, information technology, spatial analysis

**BIBLIOGRAPHY**

1. Andrianov V.Yu. Geoinformatsionnye sistemy dlya transporta i kommunikatsiy // T-Comm. - 2010. - S. 44-47.
2. Timofeev B.S., Motyko A.A. Izmerenie skorostey avtomobiley putey analiza videoposledovatel'nosti // Informatsionno-upravlyayushchie sistemy. - 2012. - №1. - S. 2-7.
3. Mokaretskiy E., Ovchinnikov A., Nguen L.H. Televizionnye izmeritel'nye sistemy kontrolya skorostnogo rezhima dorozhnogo dvizheniya // Komponenty i tekhnologii. - 2007. - №4. - S. 34-37.
4. Lozhkin V.N., Lozhkina O.V., Penchenkov A.Yu. Primenenie geoinformatsionnykh sistem dlya ekologicheskogo kontrolya gorodskogo transporta // Nauchno-analiticheskiy zhurnal «Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MCHS Rossii». - 2016. - №4. - S. 42-51.
5. Lozhkin V.N., Lozhkina O.V. Informatsionnaya tekhnologiya prognoza chrezvychaynogo zagryazneniya vozdukhа otrabotavshimi gazami sudov i avtotransporta // Sovremennye informatsionnye tekhnologii i IT-obrazovanie. - 2017. - Т. 13. - №1. - S. 222-227.

## №4-2(83) 2023 Безопасность движения и автомобильные перевозки

6. Klimova D.V. Inostrannyy i otechestvennyy opyt profilaktiki dorozhno-transportnykh proishestviy s ispol'zovaniem sistem avtomaticheskoy fiksatsii pravonarusheniy // Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Yuridicheskie nauki. - 2021. - T.7 (73). - №2 - S.237-243.
7. Aleynikov D.P., Zyk A.V. Ispol'zovanie spetsial'nykh sredstv foto- i videofiksatsii v tselyakh profilaktiki dorozhno-transportnykh proishestviy v Irkutskoy oblasti // Sovremennye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovaniye. - 2021. - №2(70). - S. 75-84.
8. Kislyakov V.M., Filippov V.V., Shkolyarenko A.M. Matematicheskoe modelirovaniye i otsenka usloviy dvizheniya avtomobiley i peshekhodov. - M.: Transport, 1979. - 200 s.
9. Sil'yanov V.V. Teoriya transportnykh potokov v proektirovaniye dorog i organizatsiya dvizheniya. - M.: Transport, 1977. - 303 s.
10. Heyt F. Matematicheskaya teoriya transportnykh potokov. - M.: MIR, 1966. - 286 s.
11. Dryu D. Teoriya transportnykh potokov i upravlenie imi. - Izd-vo: Transport, 1972. - 424 s.
12. Vrubel' Yu.A. Issledovaniya v dorozhnym dvizhenii: Uchebno-metodicheskoe posobie. - Minsk: BNTU, 2007. - 178 s.
13. Kot E.N., Kapskiy D.V., Korzhova A.V. Tekhnicheskie sredstva organizatsii dorozhnogo dvizheniya // Uchebnyy material. - Minsk: Novoe znanie. - 2017. - 237 s.
14. Zakharov V.V., Krylatov A.Yu. Sovremennye problemy ispol'zovaniya intellektual'noy bazy matematicheskogo modelirovaniya pri bor'be s zatorami v krupnykh gorodakh Rossii // Transporta Rossiiyiskoy Federatsii. - 2014. - №4(53). - S. 69-73.
15. Klinkovshteyn G.I., Afanas'ev M.B. Organizatsiya dorozhnogo dvizheniya: Uchebnik dlya vuzov. - M.: Transport, 2001 - 247 s.
16. Grafoanaliticheskiy metod v gradostroitel'nykh issledovaniyakh i proektirovaniye / A.M. Yakshin, T.M. Gorenkova, M.I. Kagan i dr. - M.: Stroyizdat, 1979. - 204 s.
17. Sistemnyy analiz i problemy razvitiya gorodov / Yu.S. Popkov, M.V. Posokhin, A.E. Gutnov, B.L. Shmul'yan. - M.: Nauka. Glavnaya redaktsiya fiziko-matematicheskoy literatury, 1983. - 512 s.
18. Tsarikov A.A., Obukhova N.A. Prostranstvennaya neravnomernost' razvitiya i zagruzki ulichno-dorozhnoy seti gorodov Sverdlovskoy oblasti // Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii. - T. 6. - №2. - 2016. - Magnitogorsk: MGTU. - S. 4-7.
19. Tsarikov A.A., Obukhova N.A. Otsenka prostranstvennogo razvitiya i zagruzhennosti ulichno-dorozhnoy seti goroda Nizhniy Tagil // Sovershenstvovanie organizatsii dorozhnogo dvizheniya i perevozok passazirov i gruzov: Sbornik nauchnykh trudov. - Vyp. 8. Bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya. - Minsk: BNTU. -2016. - S.369-377.
20. Tsarikov A.A., Obukhova N.A. Otsenka prostranstvennogo razvitiya i zagruzki ulichno-dorozhnoy seti gorodov Srednego Urala // Sotsial'no-ekonomicheskie problemy razvitiya i funktsionirovaniya transportnykh sistem gorodov i zon ikh vliyaniya: Materialy XXI Mezhdunarodnoy (dvadtsat' chetvertnoy Ekaterinburgskoy) nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Ekaterinburg: AMB. - 2015. - S. 264-270.
21. Polyakov A.A. Organizatsiya dvizheniya na ulitsakh i dorogakh. - M.: Transport, 1965. - 376 s.

### **Nevolin Dmitriy Germanov**

Ural State University of Railway Transport  
Adress: 620034, Russia, Ekaterinburg, Kolmagonova str., 66  
Doctor of technical sciences  
E-mail: innotrans@mail.ru

### **Tsarikov Aleksey Alekseevich**

Ural State University of Railway Transport  
Adress: 620034, Russia, Ekaterinburg, Kolmagonova str., 66  
Candidate of technical sciences  
E-mail: Zarikof@mail.ru

Научная статья

УДК 656.02

doi:10.33979/2073-7432-2023-4-2(83)-53-60

А.В. КУЛЕВ, М.В. КУЛЕВ

## КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА ВЫБОРА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

**Аннотация.** В работе рассматриваются вопросы, связанные с разработкой новой методики к определению рационального парка транспортных средств на маршруте для обслуживания населения города. В основе методики лежит анкетирование пассажиров, направленное на выявление предпочтений в выборе различных классов транспортных средств для осуществления транспортных перемещений в городе. На основе выявленных закономерностей, предложена комплексная методика, позволяющая одновременно использовать различные классы подвижного состава для удовлетворения потребностей различных групп пассажиров.

**Ключевые слова:** подвижной состав, пассажирский транспорт, пассажир, анкетирование, транспортное обслуживание населения

### Введение

Ежегодно в Российской Федерации отмечается рост количества автотранспортных средств у населения, одновременно с этим идет снижение использования общественного транспорта. Данная тенденция негативно сказывается на эффективности функционирования транспортных систем большинства населенных пунктов (рис. 1).

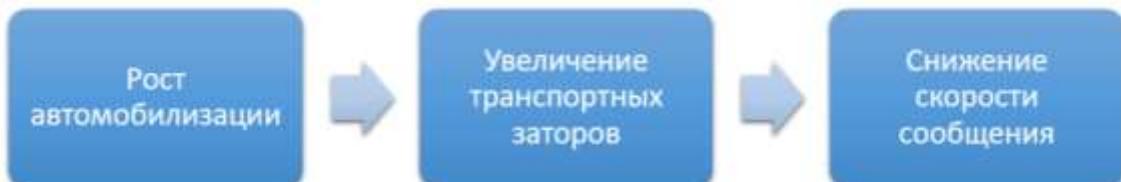


Рисунок 1 – Взаимосвязь негативных факторов в функционировании транспортных систем городов

Данная ситуация ставит многие субъекты Российской Федерации в состояние, когда необходимо постоянно повышать пропускную способность транспортной сети, чтобы снизить негативное влияние транспортных заторов. Однако другим выходом может оказаться повышение использования пассажирского транспорта для передвижения в черте города.



Рисунок 2 – Сравнение провозной способности общественного транспорта и легковых автомобилей

использования общественного транспорта, а не личного автомобиля. Ответом может послужить работа над качеством функционирования общественного транспорта, одними из которых служат показатели комфортности и показатели скорости (рис. 3).

Поэтому проблемы повышения привлекательности городского общественного транспорта является важной социально-значимой задачей, решению которой посвящены труды многих ученых: Д.В. Капский [1-2], В.Э. Клявин, Ю.Н. Ризаева [3], В.А. Гудков, Л.Б. Миротин, А.В. Вельможин [4], В.В. Епифанов [5], В.В. Зырянов [6], С.В. Еремин [7], А.А. Кудрявцев [8], М.Е. Корягин [9] и др.

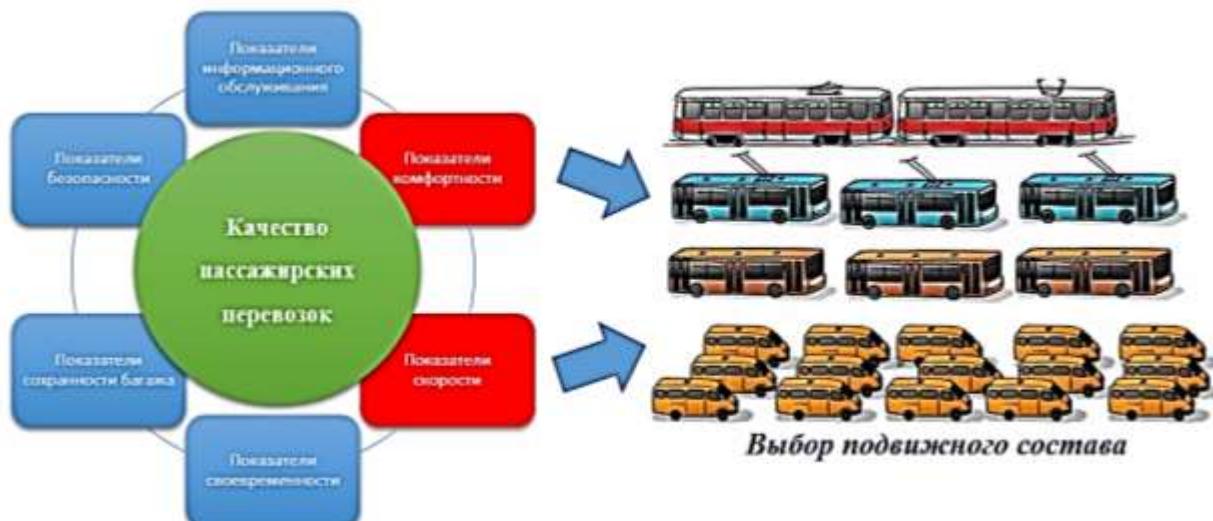


Рисунок 3 – Повышение качества пассажирских перевозок за счет выбора рационального парка подвижного состава

#### Материал и методы

В соответствии с федеральным законом от 13.07.2015 № 220-ФЗ существует пять классов транспортных средств пассажирского общественного транспорта:

- 1) особо малый класс транспортных средств;
- 2) малый класс транспортных средств;
- 3) средний класс транспортных средств;
- 4) большой класс транспортных средств;
- 5) особо большой класс транспортных средств.

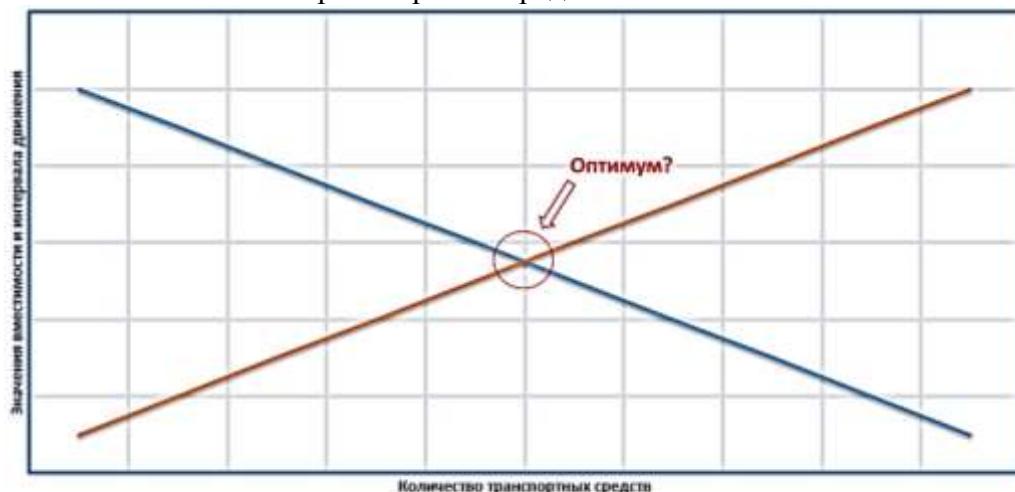


Рисунок 4 – Поиск равновесного состояния между интервалом движения и количеством автобусов

В научных и учебных трудах имеется общеизвестная формула, определяющая потребное число автобусов для маршрута [4, 10]:

$$A_M = \frac{Q_{MAX} \cdot t_{ob}}{60 \cdot \gamma_{cm} \cdot q_{ni}}, \quad (1)$$

где  $t_{ob}$  – время оборотного рейса, мин;

$Q_{MAX}$  – максимальный пассажиропоток на маршруте, пасс/ч;

$q_{ni}$  – номинальная вместимость транспортного средства, пассажиры;

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



Рисунок 5 – Преимущества и недостатки использования разных классов транспортных средств

сажирского транспорта является актуальной задачей [12]. Существуют критерии [4] для определения оптимальных автобусов для городских маршрутов в зависимости от численности населения.

Таблица 2 – Оптимальный парк подвижного состава для различных городов

Группа городов	Численность населения, тыс. чел	Средняя вместимость единицы подвижного состава, мест
1	Свыше 1000	120-130
2	От 500 до 1000	90-100
3	От 250 до 500	75-80
4	От 100 до 250	65-70
5	От 50 до 100	45-50

Данный подход не предусматривает возможности закрепления различных классов автобусов.

В методических рекомендациях, утвержденных приказом Минтранса России от 30 декабря 2021 года №482, подход к выбору подвижного состава представлен более дифференцировано (табл. 3).

Таблица 3 – Выбор подвижного состава на основе методических рекомендаций, утвержденных приказом Минтранса России от 30 декабря 2021 года №482

Численность жителей, тыс.чел.	Доля парка транспортных средств малого класса					Доля парка транспортных средств среднего класса				Доля парка транспортных средств большого класса и особо большого класса			
	доля территорий малоэтажной застройки					доля территорий малоэтажной застройки				доля территорий малоэтажной застройки			
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
более 1000	более 50%	30-50%	20-10%	менее 10%	более 50%	30-50%	20-10%	менее 10%	более 50%	30-50%	20-10%	менее 10%	
	до 20%		до 5%		до 30%			не более 10%	не менее 70%			не менее 90%	
500-1000	до 30%	до 20%	до 10%	до 5%	до 70%	до 60%	до 50%	до 40%	не менее 15%	не менее 40%	не менее 50%	не менее 70%	

Иными словами, чтобы определить количество автобусов нужно сначала задаться их вместимостью (т.е. классом). Увеличение вместимости транспортных средств приводит к увеличению интервала движения между автобусами, а снижение вместимости, наоборот к уменьшению интервала движения (рис. 4). Таким образом происходит конфликт между двумя показателями качества: комфортностью и показателями скорости.

Различные классы подвижного состава имеют свои преимущества и недостатки [11], поэтому использование автобусов средней вместимости означает их усреднить, тем самым нивелируя сильные стороны граничных классов (1 и 5 классы) (рис. 5).

Поэтому вопрос выбора наиболее рационального парка подвижного состава для работы на маршруте городского пас-

Окончание таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
200-500	до 40%	до 30%	до 20%	до 10%	до 70%		до 60%	до 50%	не менее 10%		не менее 30%	не менее 50%
100-200	до 50%	до 40%	до 30%	не менее 20%, в том числе большого	не менее 50%, в том числе большого и особо большого класса		-	-				
50-100	до 60%	до 40%	до 30%	-	не менее 10%, в том числе большого и особо большого класса		-	-	не менее 10%, в том числе среднего класса			
менее 50	до 50%						20-80%					

Данный подход уже отражает вариативность в выборе подвижного состава, однако остается вопрос насколько такая вариативность соответствует ожиданиям населения.

В предлагаемой в настоящей статье методике выбора подвижного состава лежит метод анкетирования населения (рис. 6).

Анализ результатов показал, что выбор транспортного средства сильно зависит от возраста. Средний класс вместимости является наиболее предпочтительным для большинства категорий граждан, однако пассажиры старше 60 и младше 18 лет также предпочитает просторные автобусы особо большой категории вместимости.



Рисунок 6 – Оценка транспортного обслуживания населения методом онлайн анкетирования

Структура вопросов подразумевала разделение ответов по категориям возраста (рис. 7).

#### Теория / Расчет

Отличие предлагаемой комплексной методики от ранее известных заключается в том, что на для маршрутов предлагается использовать все классы транспортных средств в количестве определяемыми весовыми коэффициентами, отражающими предпочтение граждан к тому или иному классу. Суммарное количество транспортных средств, необходимое для работы маршрута будет определяться по формуле [11]:

$$A_M = \frac{Q_{MAX} \cdot t_{ob}}{60 \cdot \gamma_{cm} \cdot \sum_{i=1}^n \alpha_i q_{hi}},$$

где  $\alpha_i$  - весовой коэффициент  $i$ -го класса транспортного средства ( $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$ );

$n$  - количество классов транспортных средств ( $n = 5$ ).

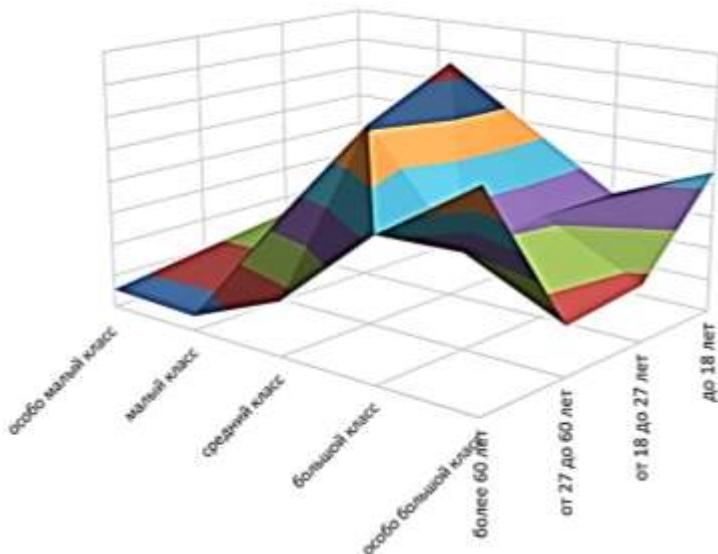


Рисунок 7 – Результаты анкетирования пассажиров в плане предпочтения в выборе подвижного состава

участках маршрута. Поэтому в работе предлагается ввести следующие ограничения [11]:

- минимальный радиус поворота, м ( $k_1$ );
- минимальная протяженность остановочного пункта, м ( $k_2$ );
- минимально допустимая масса транспортного средства или нагрузка на ось, т ( $k_3$ ).

При использовании методики предполагается, что значения критериев могут принимать значения 0 или 1. Критерий принимает значение 1 – если условие критерия выполняется и 0 в противном случае.

Примем обозначение  $k_{ij}$ , где  $i$  – номер критерия ( $i=1,2,3$ ),  $j$  – номер класса транспортных средств ( $j=1,2,3,4,5$ ) [11].

В таком случае формула (2) принимает вид:

$$A_{M5} = \alpha_5 \cdot k_{15} \cdot k_{25} \cdot k_{35} \cdot A_M ; \quad (3)$$

$$A_{M4} = (\alpha_4 \cdot k_{14} \cdot k_{24} \cdot k_{34} + \alpha_5 \cdot (1 - k_{15}) \cdot (1 - k_{25}) \cdot (1 - k_{35})) \cdot A_M ; \quad (4)$$

$$A_{M3} = (\alpha_3 \cdot k_{13} \cdot k_{23} \cdot k_{33} + \alpha_4 \cdot (1 - k_{14}) \cdot (1 - k_{24}) \cdot (1 - k_{34}) + \alpha_5 \cdot (1 - k_{15}) \cdot (1 - k_{25}) \cdot (1 - k_{35})) \cdot A_M ; \quad (5)$$

$$A_{M2} = (\alpha_2 \cdot k_{12} \cdot k_{22} \cdot k_{32} + \alpha_3 \cdot (1 - k_{13}) \cdot (1 - k_{23}) \cdot (1 - k_{33}) + \alpha_4 \cdot (1 - k_{14}) \cdot (1 - k_{24}) \cdot (1 - k_{34}) + \alpha_5 \cdot (1 - k_{15}) \cdot (1 - k_{25}) \cdot (1 - k_{35})) \cdot A_M ; \quad (6)$$

$$A_{M1} = (\alpha_1 \cdot k_{11} \cdot k_{21} \cdot k_{31} + \alpha_2 \cdot (1 - k_{12}) \cdot (1 - k_{22}) \cdot (1 - k_{32}) + \alpha_3 \cdot (1 - k_{13}) \cdot (1 - k_{23}) \cdot (1 - k_{33}) + \alpha_4 \cdot (1 - k_{14}) \cdot (1 - k_{24}) \cdot (1 - k_{34}) + \alpha_5 \cdot (1 - k_{15}) \cdot (1 - k_{25}) \cdot (1 - k_{35})) \cdot A_M . \quad (7)$$

Введем обозначения:

$$K_j^M = \prod_{i=1}^3 k_{ij} ; \quad (8)$$

$$\overline{K_j^M} = \prod_{i=1}^3 (1 - k_{ij}) . \quad (9)$$

В таком случае формулы (3-7) примут вид:

$$A_{M5} = \alpha_5 \cdot K_5^M \cdot A_M ; \quad (10)$$

$$A_{M4} = (\alpha_4 \cdot K_4^M + \alpha_5 \cdot \overline{K_5^M}) \cdot A_M ; \quad (11)$$

$$A_{M3} = (\alpha_3 \cdot K_3^M + \alpha_4 \cdot \overline{K_4^M} + \alpha_5 \cdot \overline{K_5^M}) \cdot A_M ; \quad (12)$$

$$A_{M2} = (\alpha_2 \cdot K_2^M + \alpha_3 \cdot \overline{K_3^M} + \alpha_4 \cdot \overline{K_4^M} + \alpha_5 \cdot \overline{K_5^M}) \cdot A_M ; \quad (13)$$

Использование весового коэффициента  $\alpha_i$  позволяет подобрать наиболее рациональный подвижной состав, отражающий потребность в каждом классе всеми пассажирами.

В таком случае количество подвижного состава каждого класса на маршруте может быть определено по формуле [11]:

$$A_{Mi} = \alpha_i \cdot A_M , \quad (2)$$

где  $A_{Mi}$  – количество транспортных средств  $i$ -го класса.

Однако, при назначении классов, характеризуемых значительными габаритными размерами, могут возникнуть трудности при эксплуатации на определенных участках маршрута.

$$A_{M1} = (\alpha_1 \cdot \overline{K_1^M} + \alpha_2 \cdot \overline{K_2^M} + \alpha_3 \cdot \overline{K_3^M} + \alpha_4 \cdot \overline{K_4^M} + \alpha_5 \cdot \overline{K_5^M}) \cdot A_M . \quad (14)$$

Определение количества автобусов следует осуществлять по степени снижения класса, начиная с более вместительной категории. Такой подход позволяет переносить весовые коэффициенты на менее вместительные классы в случае, когда невозможно использовать более вместительный класс автобусов.

### Результаты и обсуждение

Проверка эффективности представленной методики осуществлялась на основе имитационного моделирования на микроуровне в программном продукте PTV Vissim (рис. 8), который является одним из лидеров в области имитационного моделирования транспортных потоков [13-20]



Рисунок 8 – Имитационные модели:

а - до использования новой методики; б - после использования новой методики

В результате моделирование выявлено:

- снижение времени ожидания пассажиров на 7 %;
- снижение суммарного времени на посадку/высадку на 3 %;
- снижение времени простоя транспортных средств под посадку/высадку из-за занятости остановочных пунктов на 12 %.

### Выводы

Таким образом новая методика выбора подвижного состава позволяет назначать на маршрут общественного транспорта автобусы различных категорий вместимости с учетом мнения пассажиров. На выбор класса транспортных средств накладываются ограничения по габаритам и массе, что исключает случаи невозможности использования автобуса на данном маршруте.

Основным преимуществом разработанной методики является то, что она учитывает пожелания пассажиров, что в конечном итоге должно повысить качество транспортного обслуживания и стать одним из факторов перехода от личного транспортного средства к перемещениям с помощью общественного транспорта.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Капский Д.В., Скирковский С.В., Лю Ю. Анализ условий размещения остановочных пунктов на магистральной сети крупнейшего симбиотического города // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – №1-2(80). – С. 28-36.
2. Семченков С.С., Капский Д.В., Лобашов А.О. Секторальный метод повышения эффективности маршрутного пассажирского транспорта // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – №1-2(80). – С. 64-73.
3. Клявин В.Э., Ризаева Ю.Н., Гринченко А.В. Комплексный показатель качества пассажирских перевозок автомобильным транспортом // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – №2(81). – С. 51-57.
4. Гудков В.А., Миротин Л.Б., Вельможин А.В., Ширяев С.А. Пассажирские автомобильные перевозки: учебник для вузов / под ред. В. А. Гудкова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 448 с.
5. Епифанов В.В. Программно-целевой подход установления взаимосвязи параметров пассажирских перевозок на общественном автомобильном транспорте // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – №2(81). – С. 74-80.

6. Зырянов В.В., Ветрова Т.А. Коэффициент эталонности пространственно-геометрических характеристик маршрута // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – №2(77). – С. 46-53.
7. Еремин С.В. Оптимизация структуры парка подвижного состава городского пассажирского транспорта в общей многокритериальной постановке // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – №1(76). – С. 62-68.
8. Кудрявцев А.А., Мишель Ф.Ф. Технологии автоматического подсчета пассажиров в беспилотных пассажирских транспортных средствах // Мир транспорта и технологических машин. – 2021. – №4(75). – С. 74-82.
9. Корягин М.Е. Оптимизация управления городскими пассажирскими перевозками на основе конфликтно-устойчивых решений: Дис. ... д-а техн. наук. – Новокузнецк, 2011. – 303 с.
10. Технология организации пассажирских маршрутных перевозок: Учебное пособие / П.П. Володькин, О.А. Широкорад, С.А. Архипов, А.С. Рыжова. – Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2022. – 104 с.
11. Кулева Н.С., Кулев А.В., Кулев М.В., Ломакин Д.О. Разработка методики определения количества и класса транспортных средств на маршруте // Мир транспорта и технологических машин. – 2021. – №4(75). – С. 67-73.
12. Сиваков В.В., Тихомиров П.В., Камынин В.В., Боровая К.С. Оценка транспортного обслуживания населения г. Брянска // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – №2(81). – С. 58-66.
13. Поляков М.С., Яриков И.Д., Еремин В.И., Суфиянов Р.Ш. Имитационное моделирование транспортного движения с использованием программного комплекса PTV VISSIM // Наука и техника в дорожной отрасли. – Ч. 3. – Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ). - 2021. – С. 125-127.
14. Якимов М.Р., Арефьева А.А. Транспортное планирование. Особенности моделирования транспортных потоков в крупных российских городах. – Москва: ООО «Издательская группа «Логос», 2016. – 280 с.
15. Систук В.А., Богачевский А.А., Шумский В.Ю. Возможности использования программы имитационного моделирования PTV VISSIM для подготовки специалистов по направлениям «Транспортные технологии» и «Автомобильный транспорт» // Информационные технологии и средства обучения. – 2016. – Т. 52. - №2. – С. 93-107.
16. Еремин С.В., Новиков А.Н., Фроленкова Л.Ю. и др. Совершенствование дорожного движения в городе Красноярске на основе интеллектуальных транспортных технологий // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – №1-1(80). – С. 76-86.
17. Локтионова А.Г., Шевцова А.Г. Определение динамического показателя автомобиля в транспортных потоках городской транспортной системы // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – №1-2(80). – С. 37-42.
18. Филиппова Н.А., Литвиненко Р.В. Использование цифровых информационных технологий для снижения рисков при проведении автомобильных спортивных соревнований (на примере ралли) // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – №1-2(80). – С. 98-103.
19. Дорохин С.В., Артемов А.Ю. Развитие методов управления транспортными потоками в малых и средних городах // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – №1-1(80). – С. 60-67.

**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

A.V. KULEV, M.V. KULEV

## **COMPREHENSIVE METHODOLOGY FOR THE SELECTION OF ROLLING STOCK OF URBAN PASSENGER TRANSPORT**

*Abstract. The paper discusses issues related to the development of a new methodology for determining the rational fleet of vehicles on the route to serve the city's population. The methodology is based on a questionnaire of passengers aimed at identifying preferences in choosing different classes of vehicles for carrying out transport movements in the city. Based on the identified patterns, a comprehensive methodology is proposed that allows the simultaneous use of different classes of rolling stock to meet the needs of different groups of passengers.*

*Keywords:* rolling stock, passenger transport, passenger, survey, public transport services

## BIBLIOGRAPHY

1. Kapskiy D.V., Skirkovskiy S.V., Lyu Yu. Analiz usloviy razmeshcheniya ostanovochnykh punktov na magistral'noy seti krupneyshego simbioticheskogo goroda // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2023. - №1-2(80). - S. 28-36.
2. Semchenkov S.S., Kapskiy D.V., Lobashov A.O. Sektoral'nyy metod povysheniya effektivnosti marshrutnogo passazhirskogo transporta // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2023. - №1-2(80). - S. 64-73.
3. Klyavin V.E., Rizaeva Yu.N., Grinchenko A.V. Kompleksnyy pokazatel' kachestva passazhirskikh perevozok avtomobil'nym transportom // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2023. - №2(81). - S. 51-57.
4. Gudkov V.A., Mirotin L.B., Vel'mozhin A.V., Shiryaev S.A. Passazhirskie avtomobil'nye perevozki: uchebnik dlya vuzov / pod red. V. A. Gudkova. - M.: Goryachaya liniya - Telekom, 2006. - 448 s.
5. Epifanov V.V. Programmno-tselevoy podkhod ustanovleniya vzaimosvazi parametrov passazhirskikh perevozok na obshchestvennom avtomobil'nom transporte // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2023. - №2(81). - S. 74-80.
6. Zyryanov V.V., Vetrova T.A. Koeffitsient etalonnosti prostranstvenno-geometricheskikh kharakteristik marshruta // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2022. - №2(77). - S. 46-53.
7. Eremin S.V. Optimizatsiya struktury parka podvizhnogo sostava gorodskogo passazhirskogo transporta v obshchey mnogokriterial'noy postanovke // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2022. - №1(76). - S. 62-68.
8. Kudryavtsev A.A., Mishel' F.F. Tekhnologii avtomaticheskogo podscheta passazhirov v besplotnykh passazhirskikh transportnykh sredstvakh // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2021. - №4(75). - S. 74-82.
9. Koryagin M.E. Optimizatsiya upravleniya gorodskimi passazhirskimi perevozkami na osnove konfliktno-ustoychivykh resheniy: Dis. .... d-a tekhn. nauk. - Novokuznetsk, 2011. - 303 s.
10. Tekhnologiya organizatsii passazhirskikh marshrutnykh perevozok: Uchebnoe posobie / P.P. Volod'kin, O.A. Shirokorad, S.A. Arkhipov, A.S. Ryzhova. - Habarovsk: Tikhookeanskiy gosudarstvennyy universitet, 2022. - 104 s.
11. Kuleva N.S., Kulev A.V., Kulev M.V., Lomakin D.O. Razrabotka metodiki opredeleniya kolichestva i klassa transportnykh sredstv na marshrute // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2021. - №4(75). - S. 67-73.
12. Sivakov V.V., Tikhomirov P.V., Kamynin V.V., Borovaya K.S. Otsenka transportnogo obsluzhivaniya naseleniya g. Bryanska // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2023. - №2(81). - S. 58-66.
13. Polyakov M.S., Yarikov I.D., Eremin V.I., Sufiyanov R.SH. Imitatsionnoe modelirovaniye transportnogo dvizheniya s ispol'zovaniem programmno-go kompleksa PTV VISSIM // Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli. - CH. 3. - Moskva: Moskovskiy avtomobil'no-dorozhnyy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet (MADI). - 2021. - S. 125-127.
14. Yakimov M.R., Arep'eva A.A. Transportnoe planirovaniye. Osobennosti modelirovaniya transportnykh potokov v krupnykh rossiyskikh gorodakh. - Moskva: OOO «Izdatel'skaya gruppa «Logos», 2016. - 280 s.
15. Sistuk V.A., Bogachevskiy A.A., Shumskiy V.Yu. Vozmozhnosti ispol'zovaniya programmy imitatsionnogo modelirovaniya PTV VISSIM dlya podgotovki spetsialistov po napravleniyam «Transportnye tekhnologii» i «Avtomobil'nyy transport» // Informatzionnye tekhnologii i sredstva obucheniya. - 2016. - T. 52. - №2. - S. 93-107.
16. Eremin S.V., Novikov A.N., Frolenkova L.Yu. i dr. Sovershenstvovanie dorozhnoego dvizheniya v gorode Krasnoyarske na osnove intellektual'nykh transportnykh tekhnologiy // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2023. - №1-1(80). - S. 76-86.
17. Loktionova A.G., Shevtsova A.G. Opredelenie dinamicheskogo pokazatelya avtomobilya v transportnykh potokakh gorodskoy transportnoy sistemy // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2023. - №1-2(80). - S. 37-42.
18. Filippova N.A., Litvinenko R.V. Ispol'zovanie tsifrovyykh informatsionnykh tekhnologiy dlya snizheniya riskov pri provedenii avtomobil'nykh sportivnykh sorevnovaniy (na primere rally) // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2023. - №1-2(80). - S. 98-103.
19. Dorokhin S.V., Artemov A.Yu. Razvitiye metodov upravleniya transportnymi potokami v malykh i srednikh gorodakh // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2023. - №1-1(80). - S. 60-67.

**Kulev Andrei Vladimirovich**

Orel State University

Address: 302026, Russia, Orel, Moskovskaya str., 77

Candidate of technical sciences

E-mail: andrew.ka@mail.ru

**Kulev Maksim Vladimirovich**

Orel State University

Address: 302026, Russia, Orel, Moskovskaya str., 77

Candidate of technical sciences

E-mail: maxim.ka@mail.ru

Научная статья

УДК 656.13

doi:10.33979/2073-7432-2023-4-2(83)-61-69

А.С. АФАНАСЬЕВ, И.А. ШАММАЗОВ, Е.А. КУЗНЕЦОВА

## МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ИНТЕГРАЦИОННОЙ ПЛАТФОРМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ НАЗЕМНОГО ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

**Аннотация.** Проанализирована система управления наземным городским пассажирским транспортом и построена функциональная подсистема интеграционной платформы пассажирского транспорта. Предложена математическая модель оценки эффективности подсистем, входящих в состав интеграционной платформы. Предложена типовая физическая архитектура функционирования подсистемы диспетчерского управления подвижными единицами, определены сервисы, которые способны функционировать на основе данной архитектуры. Предложен комплекс оборудования подсистемы диспетчерского управления подвижными единицами, который позволяет исполнять сценарии подсистемы необходимые для корректной организации интеграционной платформы интеллектуальной транспортной системы наземного городского пассажирского транспорта.

**Ключевые слова:** интеллектуальная транспортная система, общественный транспорт городских агломераций, пассажирские перевозки, автоматизированная система управления наземным городским транспортом

### **Введение**

Организация пассажирских перевозок в современном мире является одной из важнейших и востребованных услуг, оказываемой не только в крупных и экономически развитых городах, но и даже в самых отдаленных участках нашей страны. Внедрение автоматизированных систем управления наземным городским пассажирским транспортом происходит на данном этапе развития нашего общества.

Оценка эффективности проекта производится в основном по капитальным затратам, которые необходимы для реализации. Однако, при определенных финансовых вложениях, необходимо учитывать также социальный эффект от внедрения того или иного решения [1]. Социальный эффект использования общественного транспорта зависит от конкретных величин, таких как:

- 1) средняя скорость движения транспорта, которая позволяет корректно рассчитать время, затрачиваемое на поездку;
- 2) затраты на эксплуатацию транспорта, от которых напрямую зависит количество транспорта на маршруте;
- 3) количество пассажиров в транспорте, влияющее в первую очередь на безопасность дорожного движения, а также на комфорт пользователей общественного транспорта.

Все эти факторы являются основополагающими при формировании системы организации движения общественным транспортом и являются фундаментальным критерием для оценки эффективности системы в целом.

### **Материал и методы**

Общественный транспорт разделяется на колесный и рельсовый, на электрический и автомобильный, на наземный и подземный. При увеличении автомобилизации населения, правительствами многих стран ведется политика улучшения качества транспортного обслуживания в наземном городском автомобильном пассажирском транспорте [17, 20]. Повышение спроса на общественный транспорт за счет увеличения комфорта поездки для пассажира, позволит снизить количество личного транспорта, тем самым разгрузить транспортную систему города.

В городе Санкт-Петербург на данный момент разрабатывается и внедряется платформа управления транспортом, которая основывается на принципах автоматизации регулирования движения и охватывает не только общественный, но и личный транспорт с системой его обслуживания, такой как парковочное пространство. Автоматизация обслуживания и управления городской системой транспорта даст возможность прогнозировать движение транспорта, а также оперативно информировать пользователей платформы об изменениях в организации дорожного движения в целом и о чрезвычайных ситуациях в частности [13].

Каждая система включает в себя множество подсистем и ориентирована на исполнение своих определенных функциональных характеристик [2, 3].

Для обеспечения функционирования данной системы необходимо периферийное оборудование, которое позволит сократить количество заторов, регулировать интенсивность транспортных потоков и повысить уровень безопасности для всех участников движения, должно включать в себя оборудование дорожного управления с контролерами, которые образуют систему, позволяющую организовать по технологии mesh, которая используется для устранения зон со слабым сигналом и обеспечения непрерывного покрытия, одноранговую сеть скоростных надежных каналов связи транспортных средств между собой и с объектами дорожной инфраструктуры [6, 8].

### Теория

Для решения задачи формирования системы на уровне комплексных подсистем была разработана автоматизированная система наземного городского пассажирского транспорта (АСУ НГПТ) на основе исследования потребностей транспортной сферы для дальнейшей организации дорожного движения [4, 16]. АСУ НГПТ предназначена для сбора и хранения информации о маршрутах и их исполнении, эффективного управления и контроля работы наземного пассажирского общественного транспорта в населённом пункте или регионе, где разрабатывается интеллектуальная транспортная система. В первую очередь такой АСУ НГПТ осуществляется учёт и мониторинг исполнения муниципальными и (или) коммерческими перевозчиками условий заключённых договоров на исполнение транспортной работы (перевозку пассажиров и багажа).

Кроме того, для пассажиров АСУ НГПТ предоставляет повышение качества перевозок – повышение степени регулярности движения и доступности подвижных единиц НГПТ за счёт исключения умышленного неисполнения рейсов перевозчиками, а также информирование пассажиров о маршрутах, графиках движения и времени прибытия подвижных единиц, как к остановке ожидания, так и к остановке назначения [10, 15].

В состав предлагаемой АСУ НГПТ входят следующие подсистемы (рисунок 1):

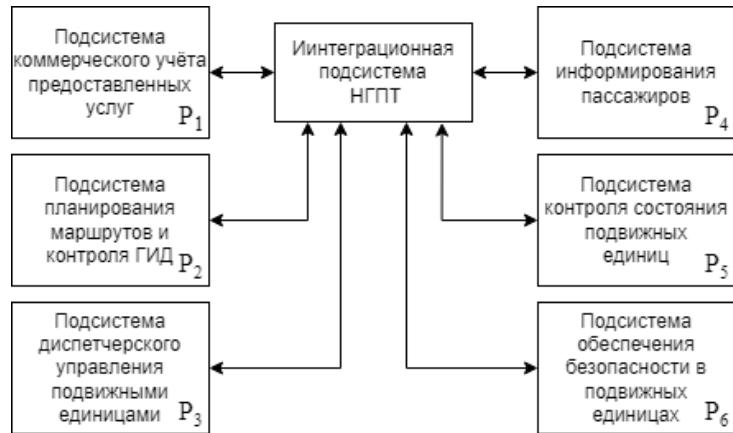


Рисунок 1 – Моделирование функциональных подсистем интеграционной подсистемы НГПТ

Основной подсистемой АСУ НГПТ является интеграционная подсистема, которая выполняет функции сбора данных с остальных подсистем [5]. Фактически это центральная подсистема, в которую стекаются информационные потоки и управленические воздействия как из всех остальных подсистем АСУ НГПТ, так и из смежных и внешних систем. Интеграционная подсистема диспетчеризует такие потоки, перенаправляет их в адресные подсистемы и системы, а также исполняет сценарии управления [9, 11]. Увеличение транспортно-эксплуатационных показателей увеличивает эффективность автомобильных перевозок и становится возможной за счет повышения результативности выполнения функций подсистем ( $P_n$ ). Таким образом,  $W$  – эффективность работы интеграционной подсистемы, которая складывается из результата работы влияющих подсистем:

$$W = f(P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6), \quad (1)$$

$$P_n = \sum x_n(T_{x_n}), \quad (2)$$

где  $x_n$  – функция каждой из подсистем;

$T_{x_n}$  - время выполнения данной функции  $T_{x_n} \rightarrow \min$ .

Рассмотрим каждую подсистему подробнее и составим функциональную архитектуру (рисунок 2):

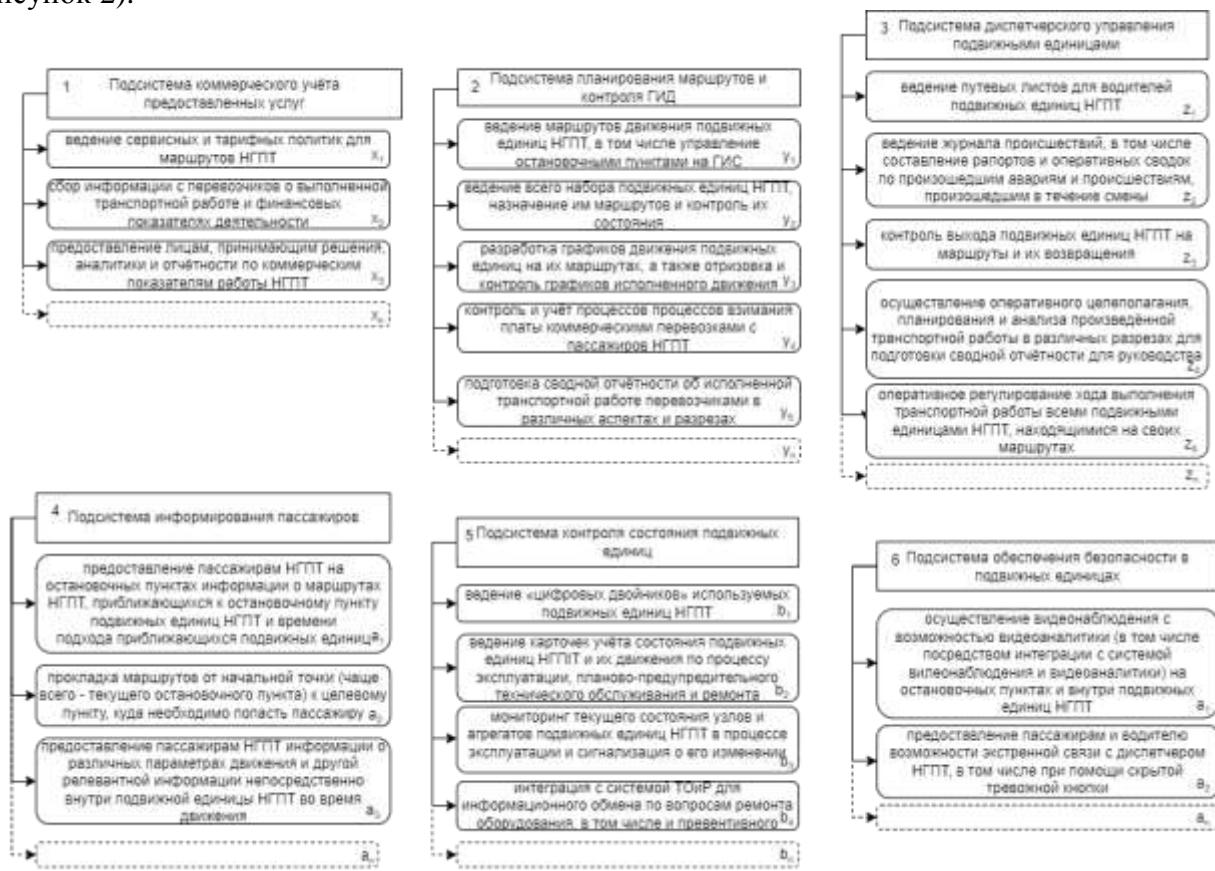


Рисунок 2 - Функциональная архитектура подсистем АСУ НГПТ

а) подсистема коммерческого учёта (рисунок 2) предоставленных услуг предназначается для сбора данных о том, какое количество услуг физическим и (или) юридическим лицам оказано перевозчиками с финансовой точки зрения, при этом перевозчики могут быть как муниципальные, так и коммерческие.

$$P_1 = x_1 \cdot T_{x_1} + x_2 \cdot T_{x_2} + x_3 \cdot T_{x_3} + \dots + x_n \cdot T_{x_n}, \quad (3)$$

где  $x_n$  – функция подсистемы коммерческого учёта предоставленных услуг;

$T_{x_n}$  – время выполнения функций подсистемы коммерческого учёта предоставленных услуг.

б) подсистема планирования маршрутов и контроля графика исполненного движения (ГИД) (рисунок 2) предназначена для разработки оптимальных маршрутов и планов движения по ним подвижных единиц НГПТ с учётом транспортной потребности и матрицы корреспонденции с выявленными пассажиропотоками между точками притяжения, а также контроля движения подвижных единиц НГПТ по установленным маршрутам и контроля качества предоставляемой транспортной услуги.

$$P_2 = y_1 \cdot T_{y_1} + y_2 \cdot T_{y_2} + y_3 \cdot T_{y_3} + y_4 \cdot T_{y_4} + y_5 \cdot T_{y_5} + y_6 \cdot T_{y_6} + \dots + y_n \cdot T_{y_n}, \quad (4)$$

где  $y_n$  – функция подсистемы планирования маршрутов и контроля ГИД;

$T_{y_n}$  – время выполнения функций подсистемы планирования маршрутов и контроля ГИД.

в) третьей важной подсистемой АСУ НГПТ является подсистема диспетчерского управления подвижными единицами НГПТ (рисунок 2), которая предназначена для централизованного управления подвижными единицами, осуществляемого из одного центра в целях выполнения разработанного ранее плана движения и его оперативной корректировки в соответствии с возникающими отклонениями и колебанием потребности в перевозках.

$$P_3 = z_1 \cdot T_{z_1} + z_2 \cdot T_{z_2} + z_3 \cdot T_{z_3} + z_4 \cdot T_{z_4} + z_5 \cdot T_{z_5} + \dots + z_n \cdot T_{z_n}, \quad (5)$$

где  $z_n$  – функция подсистемы диспетчерского управления подвижными единицами;

$T_{z_n}$  – время выполнения функций подсистемы диспетчерского управления подвижными единицами.

г) подсистема информирования пассажиров НГПТ (рисунок 2) предназначается для доведения до пассажиров, как на остановочных пунктах, так и уже внутри подвижных единиц НГПТ оперативной информации о маршрутах, каких-либо ситуациях или иной важной информации.

$$P_4 = a_1 \cdot T_{a_1} + a_2 \cdot T_{a_2} + a_3 \cdot T_{a_3} + \dots + a_n \cdot T_{a_n}, \quad (6)$$

где  $a_n$  – функция подсистемы информирования пассажиров;

$T_{a_n}$  – время выполнения функций подсистемы информирования пассажиров.

д) Подсистема контроля состояния подвижных единиц НГПТ (рисунок 2) предназначается для диспетчерского контроля и оперативного реагирования на критические изменения состояния подвижных единиц НГПТ, находящихся на маршрутах и выполняющих транспортную работу, а также для ведения процесса ремонта подвижных единиц НГПТ, находящихся в ремонтных мастерских.

$$P_5 = b_1 \cdot T_{b_1} + b_2 \cdot T_{b_2} + b_3 \cdot T_{b_3} + b_4 \cdot T_{b_4} + \dots + b_n \cdot T_{b_n}, \quad (7)$$

где  $b_n$  – функция подсистемы контроля состояния подвижных единиц;

$T_{b_n}$  – время выполнения функций подсистемы контроля состояния подвижных единиц.

е) подсистема обеспечения безопасности в подвижных единицах НГПТ (рисунок 2) предназначается для обеспечения комплексной безопасности на остановочных пунктах и внутри подвижных единиц общественного транспорта. В первую очередь речь, конечно, идёт о физической безопасности и предотвращении правонарушений и преступлений на транспорте, в том числе и против должностных лиц (например, водителя).

$$P_6 = c_1 \cdot T_{c_1} + c_2 \cdot T_{c_2} + \dots + c_n \cdot T_{c_n}, \quad (8)$$

где  $c_n$  – функция подсистемы обеспечения безопасности в подвижных единицах;

$T_{c_n}$  – время выполнения функций подсистемы обеспечения безопасности в подвижных единицах.

Под эффективностью любой системы понимается степень приспособленности системы к решению стоящих перед ней задач или степень достижения заданных целей функционирования [18, 19]. Оценивать эффективность АСУ НГПТ с точки зрения обеспечения автоматизации решения задач и функций системы управления предлагается качеством выполнения ее функций, при этом показатель эффективности будет мерой или характеристикой для оценки степени достижения поставленных целей, а критерии эффективности – предельными значениями показателя эффективности или математическими эквивалентами самой цели.

Тогда следуя из вышеперечисленных зависимостей (1)-(8), эффективность интеграционной платформы является системой эффективности функционирования подсистем скорректированных временным показателем и может быть оценена зависимостью (9):

$$W = \begin{cases} x_1 \cdot T_{x_1} + x_2 \cdot T_{x_2} + x_3 \cdot T_{x_3} + \dots + x_n \cdot T_{x_n} \\ y_1 \cdot T_{y_1} + y_2 \cdot T_{y_2} + y_3 \cdot T_{y_3} + y_4 \cdot T_{y_4} + y_5 \cdot T_{y_5} + y_6 \cdot T_{y_6} + \dots + y_n \cdot T_{y_n} \\ z_1 \cdot T_{z_1} + z_2 \cdot T_{z_2} + z_3 \cdot T_{z_3} + z_4 \cdot T_{z_4} + z_5 \cdot T_{z_5} + \dots + z_n \cdot T_{z_n} \\ a_1 \cdot T_{a_1} + a_2 \cdot T_{a_2} + a_3 \cdot T_{a_3} + \dots + a_n \cdot T_{a_n} \\ b_1 \cdot T_{b_1} + b_2 \cdot T_{b_2} + b_3 \cdot T_{b_3} + b_4 \cdot T_{b_4} + \dots + b_n \cdot T_{b_n} \\ c_1 \cdot T_{c_1} + c_2 \cdot T_{c_2} + \dots + c_n \cdot T_{c_n} \end{cases}. \quad (9)$$

Таким образом исходя из приведенной выше зависимости, можно сделать вывод, что эффективность всей платформы ИТС будет напрямую зависеть от выполнения функций каждой подсистемы. В системе управления по каждой конкретной функции управления выделяется функциональная подсистема, содержащая специальные функции управления и соответствующий состав органов управления.

### Результаты и обсуждение

Для достижения наибольшей эффективности необходимо обеспечить каждой подсистеме выполнение всех необходимых функций. Разработка каждой подсистемы в отдельности с учетом требований других подсистем является приоритетной задачей выстраивания всей платформы ИТС НГПТ [12].

Рассмотрим подробнее подсистему диспетчерского управления подвижными единицами. Подсистема должна включать в себя универсальные вычислительные мобильные и стационарные устройства (платформы) для предоставления услуг связи, развивающейся в настоящее время мировым сообществом для обеспечения высоконадежной связи на транспорте и обеспечивающей оперативную передачу данных между наземными транспортными средствами и объектами дорожной инфраструктуры с одновременной минимизацией расходов на устройство центров обработки данных, сооружений дорожной инфраструктуры и кабельных линий связи [7].

Основными компонентами данной сети должны стать мобильные и стационарные устройства. Типовая физическая конфигурация подсистемы (рисунок 3) связи включает набор из мобильных и стационарных устройств, динамически создающих одноранговую сеть в автоматическом режиме и поддерживающих передачу данных.

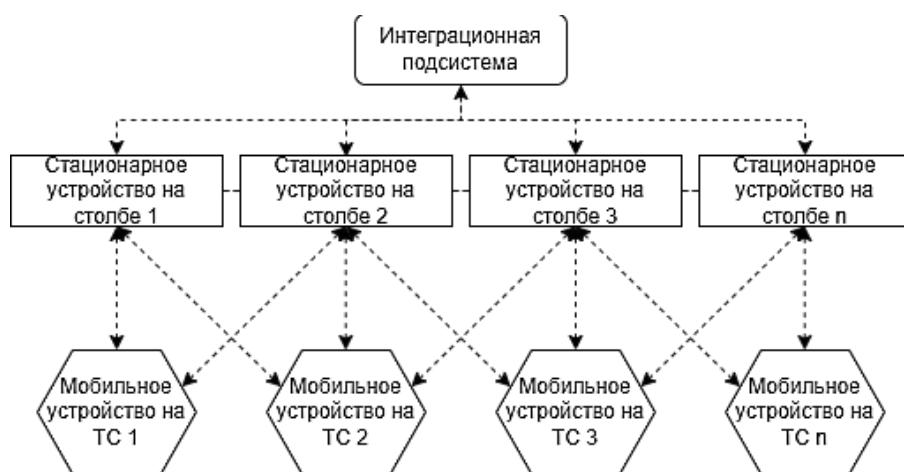


Рисунок 3 – Физическая архитектура интеграционной платформы пассажирского транспорта

Для повышения точности определения местоположения транспортных средств используется возможность оперативного обмена данными между стационарными и мобильными устройствами через сеть [14]. Стационарные устройства с приемниками ГЛОНАСС на борту при установке вдоль дорог привязываются к координатам элементов дорожной инфраструктуры или глобальным координатам. Мобильные устройства с приемниками ГЛОНАСС на борту, установленные на транспортных средствах, получают дифференциальные поправки от расположенного сравнительно близко стационарного устройства, что обеспечивает уточнение местоположения с погрешностью до нескольких сантиметров [9].

В качестве мобильного устройства должен использоваться модуль реализующий обмен данными с другими устройства в mesh-сети и позволяющий подключать различные периферийные устройства (датчики, видеокамеры, дисплеи и т.п.) и выполнять обработку данных на борту. Например приемопередающий мобильный модуль.

В качестве стационарного модуля, устанавливаемого на объектах придорожной инфраструктуры, подходит использование приемно-передающего стационарного модуля.

Рассмотрим оборудование, которое может использоваться для реализации функциональных характеристик данной платформы (рисунок 4). Автомобили, оборудованные устройствами V2X (OBU - On-Board Unit) передают данные о местоположении и состоянии своих систем на телекоммуникационные элементы дорожной инфраструктуры (RSU - Road Side Unit).

RSU анализируют, поступившую от множества автомобилей информацию и генерируют рассылку предупреждающих сообщений о возможных столкновениях и других инцидентах. Для передачи данных по радиоканалу между RSU и OBU используется стек протоколов ITS-G5, стандартизированный организацией ETSI. Предупреждения о возможных инцидентах также отправляются в ИТС платформу (программное обеспечение, развернутое в центре управле-

ния ИТС), для принятия необходимых действий в зависимости от инцидента и сбора статистики по отдельным участкам дорожной сети. В свою очередь, платформа ИТС на основе данных, вводимых операторами, и данных из других систем генерирует сообщения, передаваемые на RSU и необходимые для реализации V2X сценариев (информация о планируемых дорожных работах, информация о существенных ухудшениях погодных условий, информация о режимах работы светофорных объектов и т.д.). Указанная информация обрабатывается RSU и рассыпается в качестве предупреждений проезжающим мимо автомобилям.

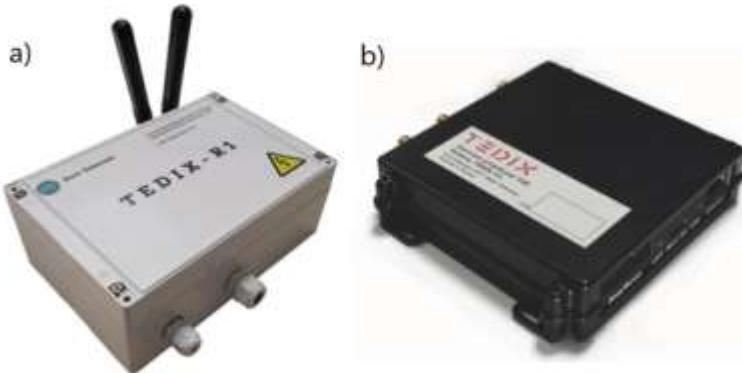


Рисунок 4 - Система оборудования для обеспечения интеграционной платформы ИТС:  
а – мобильный модуль OBU, б – стационарный модуль RSU

Рассмотрим физическую архитектуру взаимодействия данного комплекта устройств (рисунок 5).

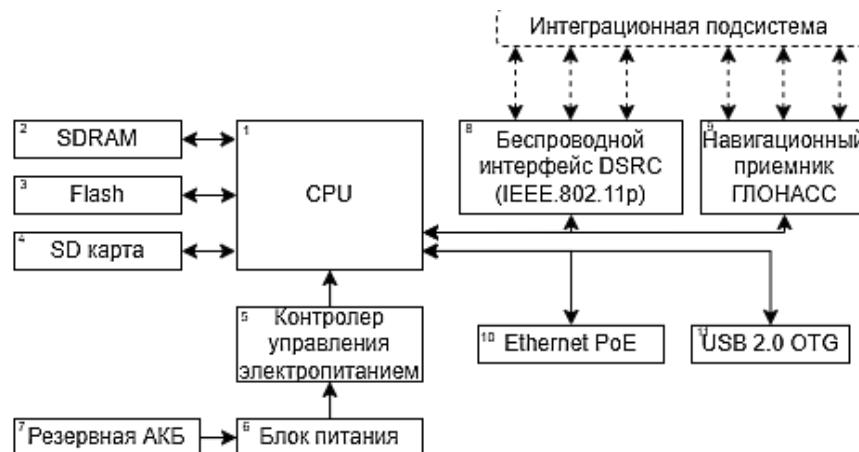


Рисунок 5 - Физическая архитектура взаимодействия устройств подсистемы диспетчерского управления подвижными единицами

Таким образом, система позволяет реализовать следующие сервисы:

- организация обмена между транспортными средствами критичными ко времени передачи данными, в том числе для автоматизированных и беспилотных транспортных средств (о скорости, ускорении и направлении движения, углах поворота колес, параметрах торможения и т. д.);
- предотвращение столкновений пилотируемых и беспилотных транспортных средств с использованием информации об их опасном сближении (за счет передачи данных, как от самих транспортных средств, так и от стационарных видеокамер с распознаванием образов, интеллектуальных датчиков потока и т.п.);
- высокоточная навигация за счет передачи поправок и привязки непосредственно к дорожной инфраструктуре (определение местоположения в реальном времени с погрешностью до нескольких сантиметров);
- предоставление водителю транспортного средства информации о времени смены фаз светофоров по маршруту движения и рекомендованной скорости движения для нахождения в «зеленой волне»;
- предоставление водителю транспортного средства локальной схемы (графа) проезда

перекрестка, развязки, опасного участки дороги с учетом текущих обстоятельств (дорожные работы, ДТП или др.);

- предоставление водителю транспортного средства «дополненной реальности» на основе получения данных от элементов дорожной инфраструктуры (дублирование дорожных знаков, сигналов светофора, контроль скорости движения на опасных участках и т. д.).

Таблица 1 – Физическая архитектура НГПТ

№	Функциональная единица	Выполняемые функции
1	CPU	исполнение встроенного программного обеспечения RSU, исполнения сценариев и приложений V2X, обмена данными с ИТС, управления обменом данными
2	SDRAM	память, необходима для исполнения встроенного программного обеспечения.
3	Flash	память, необходима для энергонезависимого хранения встроенного программного обеспечения, файлов с настройками и некоторых файлов, формируемых в процессе его исполнения
4	SD карта	для расширения возможностей устройства по хранению Log файлов.
5	Контроллер управления электропитанием	формирования набора напряжений постоянного тока, необходимых для функционирования устройства.
6	Блок питания	обеспечения электропитания устройства от сети переменного тока напряжением 220 В, а также для обеспечения подключения альтернативного электропитания от резервной аккумуляторной батареи (7)
8	Беспроводной интерфейс DSRC	предназначен для реализации обмена данными между телекоммуникационным элементом дорожной инфраструктуры RSU и бортовым телекоммуникационным терминалом ОВУ, установленным в транспортных средствах
9	Навигационный приёмник ГЛОНАСС	приёмник сигналов глобальных навигационных спутниковых систем, используется для задач синхронизации внутренних часов бортовых систем и внутренних часов устройства, а также для выдачи поправок бортовым навигационным системам. Модуль вычисляет географические координаты своего местоположения, высоту над уровнем моря, направление движения, скорость и точное время.
10	Узел Ethernet PoE	разделения данных Ethernet и энергии электропитания, передаваемой по линии Ethernet. Представляет собой PoE сплиттер.
11	USB 2.0 OTG	предназначен для диагностики работоспособности устройства, прошивки технологических и рабочих исполняемых программ.

С помощью такой организации инфраструктуры ИТС можно добиться максимального выполнения функций интеграционной платформы.

### **Выводы**

Состав функционального управления определяется конкретными функциями управления. В системе управления по каждой конкретной функции управления выделяется функциональная подсистема, содержащая специальные функции управления и соответствующий состав органов управления. Оценка данных функций не может производиться по отдельности, а только в совокупности друг с другом и должна быть ранжирована.

Предложена математическая модель определения эффективности интеграционной платформы НГПТ, которая включает в себя функциональные характеристики подсистем. На данном этапе формирования системы состав функционального управления определяется конкретными функциями управления.

Проанализирована физическая архитектура подсистемы диспетчерского управления подвижными единицами интеграционной платформы НГПТ. Определены основные модули подсистемы, которые должны использоваться для передачи данных. Это позволит улучшить эффективность управления за счет скорости передачи и обработки информации. Достигается данное улучшение благодаря беспроводным каналам связи с низкой латентностью сети. Таким образом транспортное средство взаимодействует не со всеми устройствами сразу, а по очереди, что положительно сказывается на возможной погрешности.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Afanaseva O.V. , Bezyukov O.K., Pervukhin D.A., Tukeev D.L. Experimental Study Results Processing Method for the Marine Diesel Engines Vibration Activity Caused by the Cylinder-Piston Group Operations Inventions. - 2023. - №8. – Р. 1-19. - doi.org/10.3390/inventions8030071
2. Drop N., Garlińska D. Evaluation of Intelligent Transport Systems Used in Urban Agglomerations and Intercity Roads by Professional Truck Drivers. Sustainability [Электронный ресурс] / 2021. – 13. - 2935. – Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/su13052935>

## №4-2(83) 2023 Безопасность движения и автомобильные перевозки

3. Novikov A. et al. Establishment of Causal Relationships of the Occurrence of Road Accidents // International Conference on Engineering Management of Communication and Technology (EMCTECH). - 2022. - C. 1-5.
4. Podoprigora N.V. et al. Systematic approach in information support of the «Road user-vehicle-road-external environment» system // Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications. - 2022. - C. 1-4.
5. R. Safiullin V. Reznichenko A. Epishkin D. Gorlatov. Robust-adaptive method of power unit control based on the operational assessment of fuel quality indicators // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2022. - P. 012060. - DOI 10.1088/1755-1315/990/1/012060.
6. Safiullin R., Reznichenko V., Nersesian A. Scientific-Methodological Apparatus for Construction of Monitoring Systems by Power Networks of Intellectual Buildings and Systems // Lecture Notes in Civil Engineering. - 2022. - Vol. 190. - P. 87-95. - DOI 10.1007/978-3-030-86047-9\_9.
7. Safiullin R.N., Afanasyev A.S., Reznichenko V.V. The Concept of Development of Monitoring Systems and Management of Intelligent Technical Complexes // Journal of Mining Institute. - 2019. - Vol. 237. - P. 322-330. - DOI 10.31897/PMI.2019.3.322.
8. Афанасьев А.С., Сафиуллин Р.Н. Безопасность дорожного движения: современные технические средства контроля транспортных средств. - Санкт-Петербург: Свое издательство, 2020. - 162 с.
9. Жанказиев С.В. Разработка проектов интеллектуальных транспортных систем: Учебное пособие. - М.: МАДИ, 2016. - 104 с.
10. Лищенко П.И. Теоретические аспекты функционирования и развития транспортных систем // Фундаментальные науки и современность. - 2021. - №5(50). - С. 41-58.
11. Менухова Т.А., Егоров С.В. Пассажирские перевозки: учебное пособие. - СПб.: Свое издательство, 2017.
12. Методические рекомендации по созданию организаций, уполномоченных в сфере организации дорожного движения [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://rulaws.ru/acts/Metodicheskie-rekomendatsii-po-sozdaniyu-organizatsiy,-upolnomochennyh-v-sfere-organizatsii-dorozhnogo-dvizh/>.
13. Сафиуллин Р.Н., Пыркин О.П., Демченко В.А., Ефремова В.А. Оптимизация системы управления силовыми агрегатами на всех диапазонах эксплуатационных режимов с учетом обеспечения контроля качества топлива // Известия Международной академии аграрного образования. - 2022. - №61. - С. 102-107.
14. Очеретов Д.В. Алгоритмизация управления потоками транспортных объектов на основе интеграции средств имитаци-онного моделирования: Автореф. дис. .... канд. техн. наук. - Воронеж. - 1998. - 16 с.
15. Паспорт национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/rBdyoIr3S9IDP8Q87IXXYaktpKWGc0NY.pdf>
16. Паспорт стратегии цифровой трансформации транспортной отрасли Российской Федерации [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://mintrans.gov.ru/documents/8/11374?type>.
17. Рабочая группа по внедрению ИТС на дорожной сети субъектов Российской Федерации. Официальный интернет-сайт Федерального дорожного агентства Концепция внедрения интеллектуальных транспортных систем в городских агломерациях [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://rosavtodor.gov.ru/about/up>
18. Сафиуллин Р.Н., Сафиуллин Р.Р. Управление техническими системами транспортных средств: Учебное пособие. - Москва: Директ - Медиа, 2022. - 348 с.
19. Сафиуллин Р.Р., Сафиуллин Р.Н. Безопасность на транспорте. Москва\Берлин: Монография. - Директ - Медиа, 2021. - 372 с.
20. Федеральная служба государственной статистики 1999–2023. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/contacts>.

### Афанасьев Александр Сергеевич

Санкт-Петербургский горный университет  
Адрес: 199106, Россия, Санкт-Петербург,  
Васильевский остров, 21 линия, д.2  
К.в.н., профессор, зав. каф. ТТПиМ  
E-mail: a.s.afanasev@mail.ru

### Кузнецова Елена Алексеевна

Санкт-Петербургский горный университет  
Адрес: 199106, Россия, Санкт-Петербург,  
Васильевский остров, 21 линия, д.2  
Аспирант  
E-mail: e.a.kuznetsova347@ya.ru

### Шаммазов Ильдар Айратович

Санкт-Петербургский горный университет  
Адрес: 199106, Россия, Санкт-Петербург,  
Васильевский остров, 21 линия д.2  
Д.т.н., доцент  
E-mail: shammazov\_ia@pers.spmi.ru

A.S. AFANASYEV, I.A. SHAMMAZOV, E.A. KUZNETSOVA

## METHODOLOGY FOR THE FORMATION OF AN INTEGRATION PLATFORM FOR THE FUNCTIONING OF THE TRANSPORT SYSTEM OF SURFACE URBAN PASSENGER TRANSPORT

*Abstract. The management system of surface urban passenger transport was analyzed, and a functional subsystem of the passenger transport integration platform was built. A mathematical model for evaluating the effectiveness of the subsystems included in the integration platform has been proposed. A typical physical architecture for the functioning of the subsystem of dispatcher*

*control of mobile units has been proposed, services which can function based on this architecture have been determined. The set of equipment of the subsystem of dispatcher control of mobile units, which allows performing scenarios of the subsystem necessary for the correct organization of the integration platform of intelligent transport system of ground urban passenger transport, is proposed.*

**Keywords:** intelligent transport system, public transport of urban agglomerations, passenger transportation, automated control system of ground urban transport

## BIBLIOGRAPHY

1. Afanaseva O.V. , Bezyukov O.K., Pervukhin D.A., Tukeev D.L. Experimental Study Results Processing Method for the Marine Diesel Engines Vibration Activity Caused by the Cylinder-Piston Group Operations Inventions. - 2023. - №8. - R. 1-19. - doi.org/10.3390/inventions8030071
2. Drop N., Garli?ska D. Evaluation of Intelligent Transport Systems Used in Urban Agglomerations and Intercity Roads by Professional Truck Drivers. Sustainability [Elektronnyy resurs] / 2021. - 13. - 2935. - Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.3390/su13052935>
3. Novikov A. et al. Establishment of Causal Relationships of the Occurrence of Road Accidents // International Conference on Engineering Management of Communication and Technology (EMCTECH). - 2022. - S. 1-5.
4. Podoprígora N.V. et al. Systematic approach in information support of the «Road user-vehicle-road-external environment» system // Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications. - 2022. - S. 1-4.
5. R. Safiullin V. Reznichenko A. Epishkin D. Gorlatov. Robust-adaptive method of power unit control based on the operational assessment of fuel quality indicators // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2022. - P. 012060. - DOI 10.1088/1755-1315/990/1/012060.
6. Safiullin R., Reznichenko V., Nersesian A. Scientific-Methodological Apparatus for Construction of Monitoring Systems by Power Networks of Intellectual Buildings and Systems // Lecture Notes in Civil Engineering. - 2022. - Vol. 190. - P. 87-95. - DOI 10.1007/978-3-030-86047-9\_9.
7. Safiullin R.N., Afanasyev A.S., Reznichenko V.V. The Concept of Development of Monitoring Systems and Management of Intelligent Technical Complexes // Journal of Mining Institute. - 2019. - Vol. 237. - P. 322-330. - DOI 10.31897/PMI.2019.3.322.
8. Afanas'ev A.S., Safiullin R.N. Bezopasnost` dorozhnogo dvizheniya: sovremennye tekhnicheskie sredstva kontrolya transportnykh sredstv. - Sankt-Peterburg: Svoe izdatel'stvo, 2020. - 162 s.
9. Zhankaziev S.V. Razrabotka proektov intellektual'nykh transportnykh sistem: uchebnoe posobie. - M.: MADI, 2016. - 104 s.
10. Lishchenko P.I. Teoreticheskie aspekty funktsionirovaniya i razvitiya transportnykh sistem // Fundamental'nye nauki i sovremennost'. - 2021. - №5(50). - S. 41-58.
11. Menukhova T.A., Egorov S.V. Passazhirskie perevozki: uchebnoe posobie. - SPb.: Svoe izdatel'stvo, 2017.
12. Metodicheskie rekomendatsii po sozdaniyu organizatsiy, upolnomochennykh v sfere organizatsii dorozhnogo dvizheniya [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://rulaws.ru/acts/Metodicheskie-rekomendatsii-po-sozdaniyu-organizatsiy,-upolnomochennyh-v-sfere-organizatsii-dorozhnogo-dvizh/>.
13. Safiullin R.N., Pyrkin O.P., Demchenko V.A., Efremova V.A. Optimizatsiya sistemy upravleniya silovymi agregatami na vsekh diapazonakh ekspluatatsionnykh rezhimov s uchetom obespecheniya kontrolya kachestva topliva // Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya. - 2022. - №61. - S. 102-107.
14. Ocheretov D.V. Algoritmizatsiya upravleniya potokami transportnykh ob"ektov na osnove integratsii sredstv imitatsionnogo modelirovaniya: Avtoref. dis. .... kand. tekhn. nauk. - Voronezh. - 1998. - 16 s.
15. Pasport natsional'nogo proekta «Bezopasnye i kachestvennye avtomobil'nye dorogi» [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <http://static.government.ru/media/files/rBdyoIr3S9IDP8Q87IXXY-aktpKWGc0NY.pdf>
16. Pasport strategii tsifrovoy transformatsii transportnoy otrassli Rossiyskoy Federatsii [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://mintrans.gov.ru/documents/8/11374?type>.
17. Rabochaya gruppa po vnedreniyu ITS na dorozhnoy seti sub"ektov Rossiyskoy Federatsii. Ofitsial'nyy internet-sayt Federal'nogo dorozhnogo agentstva Kontsepsiya vnedreniya intellektual'nykh transportnykh sistem v gorodskikh aglomeratsiyakh [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://rosavtodor.gov.ru/about/up>
18. Safiullin R.N., Safiullin R.R. Upravlenie tekhnicheskimi sistemami transportnykh sredstv: Uchebnoe posobie. - Moskva: Direkt - Media, 2022. - 348 s.
19. Safiullin R.R., Safiullin R.N. Bezopasnost` na transporte. Moskva\Berlin: Monografiya. - Direkt - Media, 2021. - 372 s.
20. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki 1999-2023. [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://rosstat.gov.ru/contacts>.

**Afanasyev Alexander Sergeyevich**

Staint Petersburg Mining University  
Address: 199106, Russia, St. Petersburg, 21st Line, 2  
Candidate of military sciences  
E-mail: a.s.afanasev@mail.ru

**Kuznetsova Elena Alekseevna**

Staint Petersburg Mining University  
Address: 199106, Russia, St. Petersburg, 21st Line, 2  
Graduate student  
E-mail: e.a.kuznetsova347@ya.ru

**Shammazov Ildar Ayratovich**

Staint Petersburg Mining University  
Address: 199106, Russia, St. Petersburg, 21st Line, 2  
Doctor of technical science  
E-mail: shammazov\_ia@pers.spmi.ru

Научная статья

УДК 656.13.072:338

doi:10.33979/2073-7432-2023-4-2(83)-70-76

А.Н. НОВИКОВ, С.А. ЖЕСТКОВА

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ МАРШРУТИЗАЦИИ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ ВЕЛИЧИНЫ ПАРТИЙ ГРУЗА И КОЛИЧЕСТВА ПУНКТОВ

**Аннотация.** Рассмотрена задача развозки груза автомобильным транспортом. Представлена методика проектирования задачи маршрутизации при ограничении количества единиц партий груза и количества пунктов, в которых необходимо его разгрузить. Для расчета применен метод фиктивных узлов и ветвей, позволяющий посещать узлы несколько раз. В результате несколько кольцевых маршрутов заменяются оптимальным одним, который проходит через фиктивные базы. Учет ограничений производится при возвратно поступательном движении по ветвям дерева решения путем блокировки ячейки с максимальной оценкой. Приведен численный пример по разработанной методике расчета.

**Ключевые слова:** кольцевые маршруты, ограничение партий груза, метод фиктивных узлов и ветвей, блокировка, маршрутизация

### **Введение**

В настоящее время основной проблемой транспортной логистики является решение задачи маршрутизации с ограничением при доставке груза на кольцевых маршрутах. Ее относят к NP – трудной задаче дискретной оптимизации. Некоторые исследователи данную задачу, относят к задаче о «бродящих торговцах» выходящих из одной базы [1]. Однако следует отличать три основных типа задач возникающих при перевозки грузов: коммивояжера, развозки (сбора), распределения материальных потоков. В задаче коммивояжера оптимальный маршрут не зависит от величины партии груза разгружаемого у грузополучателя. При этом пункт транспортной сети можно посещать только один раз. Наоборот, при развозке или сборе груза расчет производится с учетом ее величины и, следовательно, маршрут будет зависеть от типа, вместимости или грузоподъемности автомобиля. Таким образом, в этом случае имеет место ограничение по объему или весу партии и количеству пунктов потребления. Распределение материальных потоков относится к известной классической транспортной задаче и здесь не рассматривается.

### **Материалы и методы**

Для ее решения используются точные и приближенные методики. К точным методикам относятся методы: фиктивных узлов и ветвей (ФУВ) [2] и динамического программирования [3, 4].

Основным недостатком первой методики является, необходимость анализа большого количества вариантов сочетаний ветвей, что приводит к большим затратам времени. Причиной этого является древовидная методика решения поставленной задачи.

Недостатком метода динамического программирования является хранение огромного объема информации при решении. В настоящее время для сокращения времени расчета используют методику параллельного программирования [5].

Основу приближенных методов проектирования маршрутов составляют эвристические методики. В [6-8] представлен обзор некоторых из них. Можно выделить два основных их подхода к решению проблемы развозки:

- сначала выполняется кластеризация транспортной сети, а затем в каждом кластере решается задача маршрутизации;
- наоборот, сначала проектируется единый маршрут, а затем он разбивается на несколько кластеров, в которых находятся свои кольцевые схемы передвижения.

Чтобы уточнить полученное приближенное решение используется методика рекурсии, когда производится обмен пунктов между кольцевыми маршрутами [9].

Следует заметить, что метод ветвей и границ не всегда является точным, так как он основан на эвристических принципах [7]. Это доказано на численных примерах в [2].

В работе исследуется развитие метода фиктивных узлов и ветвей при ограничении на величину партии груза и количества пунктов.

### Расчет

Дана дислокации транспортной сети и расположение грузового терминала. Известно количество кольцевых маршрутов –  $d$  и число пунктов посещения в каждом из них –  $a$ . В каждом пункте разгружается партия груза –  $g$ .

Требуется спроектировать кольцевые маршруты, чтобы их суммарная длина была наименьшей, а загрузка автомобилей наибольшей. Математическую формулировку задачи запишем в виде:

$$\sum_{i=1}^n l_{ij} \rightarrow \min ; \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^m g_i \rightarrow \max, \quad (2)$$

где  $l_{ij}$  - расстояние между пунктами  $i$  и  $j$ ;

$n$  – количество ветвей в кольцевом маршруте;

$m$  – число пунктов на кольцевом маршруте;

$g_i$  - величина партии груза, который требуется доставить в  $i$ -й пункт.

Формула (1) выражает задачу коммивояжера, когда в каждый пункт завозится одинаковое количество груза. В этом случае в качестве ограничения может выступать количество пунктов в маршруте.

В данной работе выражение (2) является ограничением на величину партии груза в кузове автомобиля.

В качестве целевой функции используется расстояние между пунктами. Решение задачи маршрутизации производится методом фиктивных узлов и ветвей. Он позволяет посещать пункты транспортного графа несколько раз, в отличие от метода ветвей и границ. ФУВ ведет поиск оптимального маршрута с учетом ограничений, по всей транспортной сети по ширине и глубине одновременно. Алгоритм проектирования оптимального маршрута состоит из пяти основных этапов.

Реализацию разработанной методики, рассмотрим на простом примере транспортной сети из пяти пунктов (рис. 1). Требуется спроектировать два кольцевых маршрута. Кольцевой маршрут состоит из двух торговых пунктов. Грузовой терминал расположен в вершине 3. В пункты завозятся партии груза: 1 – 4 единицы, 2 – две единицы, 4 – три единицы, 5 – две единицы.

Наибольшая грузоподъемность автомобиля 6 единиц груза.

Рассмотрим методику решения задачи маршрутизации с ограничениями. Решение включает в себя пять этапов.

1 этап. На первом этапе создается фиктивная транспортная сеть. Для этого вводятся в вершину 3 фиктивный грузовой терминал – узел. Его соединяют со смежными вершинами фиктивными ветвями по длине равными действительным. Они обозначены пунктирными линиями (рис. 1). Исходные расстояния между узлами графа, представлены в таблице 1.

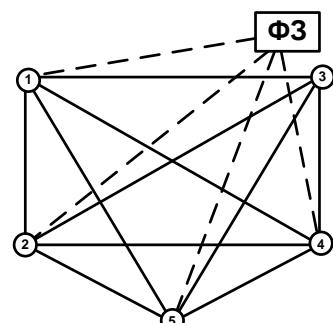


Рисунок 1 - Фиктивная транспортная сеть

Таблица 1- Фиктивная матрица 1

	1	2	3	4	5	Ф3
1		3,5	2,1	1,4	10	2,1
2	3,5		4,3	5,7	4,6	4,3
3	2,1	4,3		8,2	18,2	
4	1,4	5,7	8,2		6,5	8,2
5	10	4,6	18,2	6,5		18,2
Ф3	2,1	4,3		8,2	18,2	

2 этап. Выполняется операция приведения в таблице 1 согласно методике [2].

3 этап. Выполняется операция оценки элементов аналогично как [2], результаты которой представлены в таблице 2. Величины оценки записываются в правом верхнем углу ячеек. Проводится анализ оценок. Определяются ячейки, имеющие наибольшее ее значение.

Таблица 2 - Матрица оценки 1

	1	2	3	4	5	Ф3
1		2,1	0,1	1,9	7,5	0,1
2	0		0,1	2,2	4	0,1
3	2,2			6,1	15	
4	4	4,3	6,1		4	6,1
5	5,4	0	12,9	1,9		12,9
Ф3	2,2	2,2		6,1	15	

Три ячейки 2-5, 5-2 и 4-1 имеют одинаковую наибольшую оценку – 4.

Этап 4. Проверяется выполнения ограничений по количеству пунктов обслуживания на маршруте. Оно выполняется.

Далее в качестве примера рассматриваются результаты расчета одной ветви 4-1, на дереве решений методом ФУВ. Проведенные расчеты по остальным ветвям не дают улучшения результатов.

Этап 5. Проверяется ограничения по количеству единиц партий груза на маршруте. Если удалить ветвь 4-1, то груз в кузове автомобиля будет превышать его вместимость. Следовательно, эту ветвь необходимо заблокировать (табл. 3), и опять выполнить операции приведения и оценки. Далее этапы 2-5 повторяются.

Таблица 3- Блокировка 4-1

	1	2	3	4	5	Ф3
1		2,1	0,1	1,9	7,5	0,1
2	0		0,1	2,2	0,1	0,1
3	2,2	2,2		6,1	15	
4	$\infty$	0,3	2,1		0,3	2,1
5	5,4	2,2	12,9	1,9		12,9
Ф3	2,2	2,2		6,1	15	

Ячейки 3-1, 5-2 и Ф3-1 имеют наибольшие одинаковые оценки - 2.2. В качестве примера в таблице 3 блокируется ветвь 5-2, так как суммарная партия груза в пунктах 2 и 5 наименьшая из всех возможных. Оценочная матрица дана в таблице 4.

Таблица 4- Блокировка 5-2

	1	2	3	4	5	Ф3
1		0,1 0	0,1 0	0 0	7,5 0	0,1 0
2	0 0		0,1	2,2	4 0	0,1
3	0,1 0	0,1		6,1	15	
4	2,2 0	2,2	6,1		4	6,1
5	3,5	$\infty$	11	3,5 0		11
Ф3	0,1 0	0,1		6,1	15	

Наибольшая оценка 4 в ячейке 2-5. Блокируем ветвь 2-5, согласно выше указанному ограничению, так как полностью не используется партионность автомобиля – 6 единиц. Результат преобразования представлен в таблице 5.

Таблица 5 - Блокировка 2-5

	1	2	3	4	5	Ф3
1		0,1 0	0,1 0	0 0	3,5 0	0,1 0
2	0,1 0		0,1	2,2	$\infty$	0,1
3	0,1 0	0,1		6,1	11	
4	0 0	2,2	6,1		3,5 0	6,1
5	3,5		11	3,5 0		11
Ф3	0,1 0		6,1	11		

Две ячейки имеют оценки 3,5: 4-5 и 5-4. В качестве примера используется ветвь 4-5, таблица 6. Вводится фиктивный узел Ф4 и блокируется ветвь 5-4 против зацикливания, согласно алгоритма в [2]. Результат расчета оценочной матриц представлена в таблице 6.

Таблица 6 - Фиктивная матрица 2

	1	2	3	4	Ф3	Ф4
1		0,1 0	0,1 0	2,2 0	0,1 0	0
2	0,1 0		0,1	2,2	0,1	2,2
3	0,1 0	0,1		6,1		6,1
5	3,5		11	$\infty$	11	3,5 0
Ф3	0,1 0	0,1		6,1		6,1
Ф4	2,2 0	2,2	6,1		6,1	

В фиктивной матрице 2 удаляется ветвь 5-Ф4 с наибольшей оценкой 3,5. Получаем таблицу 7.

Таблица 7- Оценочная фиктивная матрица 3

	1	2	3	4	Ф3
1		0,1 0	0,1 0	2,2 0	0,1 0
2	0,1 0		0,1	2,2	0,1
3	0,1 0	0,1		6,1	
Ф3	0,1 0	0,1		6,1	
Ф4	2,2 0	2,2	6,1		6,1

Наибольшую оценку 2,2 получают две ячейки: 1-4 и Ф4-1. При их удалении не выполняется ограничение по числу пунктов, их будет три. Далее опять проверяем условия ограничения по количеству единиц партий груза и пунктов на кольцевом маршруте. В результате далее последовательно блокируется ветви: 1-4 и 2-4 с максимальными оценками. Получаем оценочную матрицу 8, в которой две ячейки 2-1 и 1-2 имеют максимальную оценку 0,1. Вычеркивается ветвь 2-1.

Таблица 8 - Оценочная фиктивная матрица 4

	1	2	3	4	Ф3
1		0,1	0		0
2	0,1		0,1		0,1
3	0	0,1		0	
Ф3	0	0,1		0	
Ф4			0		0

Далее блокируется ветвь 1-2 и выполняются расчеты аналогично выше изложенному алгоритму. Удаляются последовательно ветви: 1-3, Ф4-Ф3, 3-4, Ф3-2. Проектирование маршрута прекращается, когда вычеркивание последней пары ветвей в матрице 2х2 становится очевидными.

Из всех вариантов сочетаний вычеркиваемых ветвей выбирается схема передвижения с наименьшей длиной, показанной на рис. 2, после отбрасывания фиктивных узлов и ветвей. Таким образом, узлы 3 и 4 посещаются два раза.

#### Результаты и обсуждение

В результате расчета были вычеркнуты следующие ветви: 4-5, 5-Ф4, 2-1, 1-3, Ф4-Ф3, 3-4, Ф3-2. Вычеркнув фиктивные узлы, получаем расчетную схему кольцевых маршрутов: первый 3-2-1, длиной 9,9 км и второй 3-4-5-4-3, длиной 29,4 км. В пункт 2 доставлена партия из 2 единиц, а в пункт 1 – 4 единиц товара. На втором маршруте доставлено: в пункт 4 – 3 единицы; в пункт 5 – 2 единицы.

#### Выводы

Усовершенствована методика фиктивных узлов и ветвей для решения задачи маршрутизации с ограничениями по количеству пунктов и величине партии груза при проектировании схемы развозки по кольцевым маршрутам.

Приведен численный пример решения задачи маршрутизации с ограничениями по количеству пунктов на маршруте и единиц партий груза.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гимади Э.Х., Истомин А.И., Рыков И.А. О задаче нескольких коммивояжеров с ограничениями на пропускные способности ребер графа // Дискретный анализ и исследование операций. – 2013. – Т. 20. - №5. - С. 13-30.
- Жесткова С.А. Совершенствование организации перевозочного процесса автомобилями на примере доставки нефтепродуктов на автозаправочные станции. Дис. ... канд. техн. наук.
- Мудров В.И. Задачи о коммивояжерах. – М.: Знание, 1969. – 64 с.
- Белман Р., Дрейфус С. Прикладные задачи динамического программирования. – М.: Наука, 1965. – 458 с.
- Сигал И.Х., Иванов А.П. Введение в прикладное дискретное программирование: модели и вычисли-

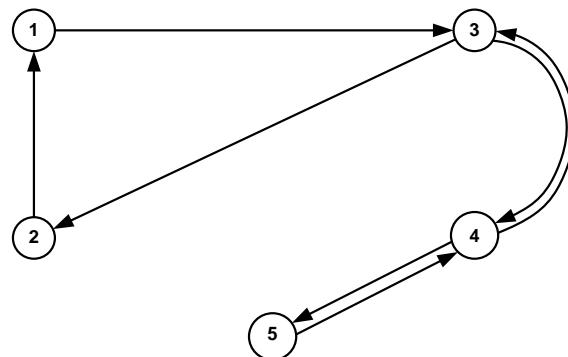


Рисунок 2 – Оптимизация схемы передвижения

тельные алгоритмы. - Изд-во Физмат. – 2007. – 304 с.

6. Подшивалова К.С., Подшивалов С.Ф. Временный критерий агрегации в кластерной транспортной задаче доставки грузов // Экономика и математические методы. – 2017. - Т. 53. Вып. 2. - С. 134-142.

7. Мельников Б.Ф., Мельникова Е.А. О классической версии метода ветвей и границ // Компьютерные инструменты в образовании. – 2021. – №1. – С. 21–44.

8. Пожидаев М.С. Алгоритмы решения задачи маршрутизации транспорта // Дисс. ... канд техн. наук - 2010. – Томск . – С. 137.

9. Thompson P.M., Psorafitis H.N. Cyclic transfers algorithms for the multivehicle routing and scheduling problems // Operations research. – 1993. - Т. 41. - №53. - Р. 935-946.

10. Кисляков В.М., Филиппов В.В., Школьренко А.М. Математическое моделирование и оценка условий движения автомобилей и пешеходов. – М.: Транспорт, 1979. – 200 с.

11. Цариков А.А., Обухова Н.А. Пространственная неравномерность развития и загрузки улично-дорожной сети городов Свердловской области // Современные проблемы транспортного комплекса России. – Т. 6. - №2. - 2016. - Магнитогорск: МГТУ. - С. 4-7.

12. Клявин В.Э., Ризаева Ю.Н., Гринченко А.В. Комплексный показатель качества пассажирских перевозок автомобильным транспортом // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – №2(81). – С. 51-57.

13. Еремин С.В. Оптимизация структуры парка подвижного состава городского пассажирского транспорта в общей многокритериальной постановке // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – №1(76). – С. 62-68.

14. Корягин М.Е. Оптимизация управления городскими пассажирскими перевозками на основе конфликтно-устойчивых решений: Дис. ... д-а техн. наук. – Новокузнецк, 2011. – 303 с.

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

16. Афанасьев А.С., Сафиуллин Р.Н. Безопасность дорожного движения: современные технические средства контроля транспортных средств. – Санкт-Петербург: Свое издательство, 2020. – 162 с.

17. Жанказиев С.В. Разработка проектов интеллектуальных транспортных систем: Учебное пособие. - М.: МАДИ, 2016. - 104 с.

18. Менухова Т.А., Егоров С.В. Пассажирские перевозки: учебное пособие. – СПб.: Свое издательство, 2017.

19. Новиков А.Н., Новиков И.А., Шевцова А.Г. Современная оценка проблемы безопасности дорожного движения. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2021. – 108 с.

20. Мамонова М.В. Актуальность проблематики правового регулирования инвестиционной деятельности в целях реализации транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года // Транспортное право и безопасность. – 2017. – №3(15). – С. 33-36.

**Новиков Александр Николаевич**

Орловский государственный университет им. Тургенева И.С.

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

Д.т.н., профессор

E-mail: novikovan58@bk.ru

**Жесткова Светлана Анатольевна**

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

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

E-mail: obd@pguas.ru

---

A.N. NOVIKOV, S.A. ZHESTKOVA

**SOLVING THE PROBLEM OF ROUTING WITH RESTRICTIONS  
ON THE SIZE OF CARGO AND THE NUMBER OF POINTS**

*Abstract. The task of transporting cargo by road is considered. The procedure for designing the routing task when limiting the number of units of cargo batches and the number of points where it is necessary to unload it is presented. For calculation, the method of dummy nodes and branches is used, which allows you to visit nodes several times. As a result, several ring routes are replaced by the optimal one that passes through dummy bases. Constraints are taken into account when reciprocating along the branches of the decision tree by blocking the cell with the maximum rating. A numerical example is given according to the developed calculation method.*

**Keywords:** ring routes, consignment restriction, method of dummy nodes and branches, blocking, routing

## BIBLIOGRAPHY

1. Gimadi E.H., Istomin A.I., Rykov I.A. O zadache neskol'kikh kommivoyazherov s ograniceniyami na propusknye sposobnosti reber grafa // Diskretnyy analiz i issledovanie operatsiy. - 2013. - T. 20. - №5. - S. 13-30.
2. Zhestkova S.A. Sovershenstvovanie organizatsii perevozochnogo protsessa avtomobilyami na prime-re dostavki nefteproduktov na avtozapravochnye stantsii. Dis. ... kand. tekhn. nauk.
3. Mudrov V.I. Zadachi o kommivoyazherakh. - M.: Znanie, 1969. - 64 s.
4. Belman R., Dreyfus S. Prikladnye zadachi dinamicheskogo programmirovaniya. - M.: Nauka, 1965. - 458 s.
5. Sigal I.H., Ivanov A.P. Vvedenie v prikladnoe diskretnoe programmirovaniye: modeli i vychislitel'nye algoritmy. - Izd-vo Fizmat. - 2007. - 304 s.
6. Podshivalova K.S., Podshivalov S.F. Vremenny kriteriy agregatsii v klasternoy transportnoy zadache dostavki gruzov // Ekonomika i matematicheskie metody. - 2017. - T. 53. Vyp. 2. - S. 134-142.
7. Mel'nikov B.F., Mel'nikova E.A. O klassicheskoy versii metoda vetvey i granits // Komp'yuternye instrumenty v obrazovanii. - 2021. - №1. - S. 21-44.
8. Pozhidaev M.S. Algoritmy resheniya zadachi marshrutizatsii transporta // Diss. ... kand tekhn. nauk -2010. - Tomsk. - S. 137.
9. Thompson P.M., Psorafitis H.N. Cyclic transfers algorithms for the multivehicle routing and scheduling problems // Operations research. - 1993. - T. 41. - №53. - R. 935-946.
10. Kislyakov V.M., Filippov V.V., Shkolyarenko A.M. Matematicheskoe modelirovaniye i otsenka usloviy dvizheniya avtomobiley i peshekhodov. - M.: Transport, 1979. - 200 s.
11. Tsarikov A.A., Obukhova N.A. Prostranstvennaya neravnomernost' razvitiya i zagruzki ulichno-dorozhnoy seti gorodov Sverdlovskoy oblasti // Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii. - T. 6. - №2. - 2016. - Magnitogorsk: MGTU. - S. 4-7.
12. Klyavin V.E., Rizaeva Yu.N., Grinchenko A.V. Kompleksnyy pokazatel' kachestva passazhirskikh perevozok avtomobil'nym transportom // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2023. - №2(81). - S. 51-57.
13. Eremin S.V. Optimizatsiya struktury parka podvizhnogo sostava gorodskogo passazhirskogo transporta v obshchey mnogokriterial'noy postanovke // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2022. - №1(76). - S. 62-68.
14. Koryagin M.E. Optimizatsiya upravleniya gorodskimi passazhirskimi perevozkami na osnove konfliktno-ustoychivykh resheniy: Dis. ... d-a tekhn. nauk. - Novokuznetsk, 2011. - 303 s.
15. Kuleva N.S., Kulev A.V., Kulev M.V., Lomakin D.O. Razrabotka metodiki opredeleniya kolichestva i klassa transportnykh sredstv na marshrute // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2021. - №4(75). - S. 67-73.
16. Afanas'ev A.S., Safiullin R.N. Bezopasnost' dorozhnoy dvizheniya: sovremennye tekhnicheskie sredstva kontrolya transportnykh sredstv. - Sankt-Peterburg: Svoe izdatel'stvo, 2020. - 162 s.
17. Zhankaziev S.V. Razrabotka proektov intellektual'nykh transportnykh sistem: Uchebnoe posobie. - M.: MADI, 2016. - 104 s.
18. Menukhova T.A., Egorov S.V. Passazhirskie perevozki: uchebnoe posobie. - SPb.: Svoe izdatel'stvo, 2017.
19. Novikov A.N., Novikov I.A., Shevtsova A.G. Sovremennaya otsenka problemy bezopasnosti dorozhnoy dvizheniya. - Belgorod: BGTU im. V.G. Shukhova, 2021. - 108 s.
20. Mamonova M.V. Aktual'nost' problematiki pravovogo regulirovaniya investitsionnoy deyatel'nosti v tselyakh realizatsii transportnoy strategii rossiyskoy federatsii do 2030 goda // Transportnoe pravo i bezopasnost'. - 2017. - №3(15). - S. 33-36.

**Novikov Alexander Nikolaevich**

Oryol State University  
Address: 302026, Russia, Orel, Komsomolskaya st., 95  
Doctor of technical sciences  
E-mail: novikovan58@bk.ru

**Zhestkova Svetlana Anatolievna**

Penza State University of Architecture and Construction  
Address: 440028, Russia, Penza, Herman's Titov st., 28  
Candidate of technical sciences  
E-mail: s.zhestkova@yandex.ru

Научная статья

УДК 629.331

doi:10.33979/2073-7432-2023-4-2(83)-77-86

И.А. НОВИКОВ, А.Н. ДЕГТЬЯРЬ, Д.А. ЛАЗАРЕВ, В.Л. МАХОНИН

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ НА ОСНОВЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ В СОСТОЯНИИ ПОТЕРИ УПРАВЛЯЕМОСТИ

**Аннотация.** В данной работе проведен анализ проблемных вопросов, возникающих при производстве дорожно-транспортной экспертизы. Возникает необходимость расчета перемещения транспортных средств (далее ТС) в не стандартных условиях в рамках исследований механизма дорожно-транспортного происшествия (далее ДТП), поскольку стандартные инструменты расчета не позволяют сейчас решать некоторые стоящие перед экспертом задачи. Определены основные уравнения и системы уравнений, позволяющие решать данную задачу на различных уровнях сложности. Предложено решение для получения необходимых исходных данных для данной задачи.

**Ключевые слова:** дорожно-транспортное происшествие, транспортное средство, дорожное движение, расследование, экспертиза, сложное движение, автотранспортная техника

### Введение

Моделирование перемещения транспортных средств под воздействием различных инерционных сил в рамках проведения дорожно-транспортной экспертизы в настоящее время является очень востребованной задачей, поскольку позволяет спрогнозировать перемещение автомобилей от начальной точки (точки возникновения сложного неуправляемого перемещения) до конечной [1, 2]. Это позволяет установить ряд характеристик перемещения транспортных средств, необходимых для установления причинно-следственных связей между событием происшествия и конкретными действиями его участников. Однако, данная задача должна иметь возможность решения как прямого, так и обратного порядка. В связи с этим предложено решение прямой и обратной задачи, базируясь на ранее рассмотренных методах.

### Материал и методы

Основные параметры перемещения транспортного средства по криволинейной траектории определяются исходя из баланса сил и моментов, отображенных на рисунке 1.

Исходя из схемы определяются системы уравнений, которые позволяют определять ряд параметров перемещения ТС в состоянии инерционного перемещения без участия водителя. Системы уравнений приведены авторами ранее [3] и отображены в таблице 1.

Опрокидывание транспортного средства также является задачей, относящейся к сложному перемещению. Только в данном случае силовой баланс подразумевает использование вертикального ориентирования. Решение задачи по расчету параметров опрокидывания транспортного средства было указано авторами ранее в отдельной статье [4]. Основные используемые параметры опрокидывания ТС отражены на рисунке 2 по стадиям опрокидывания.

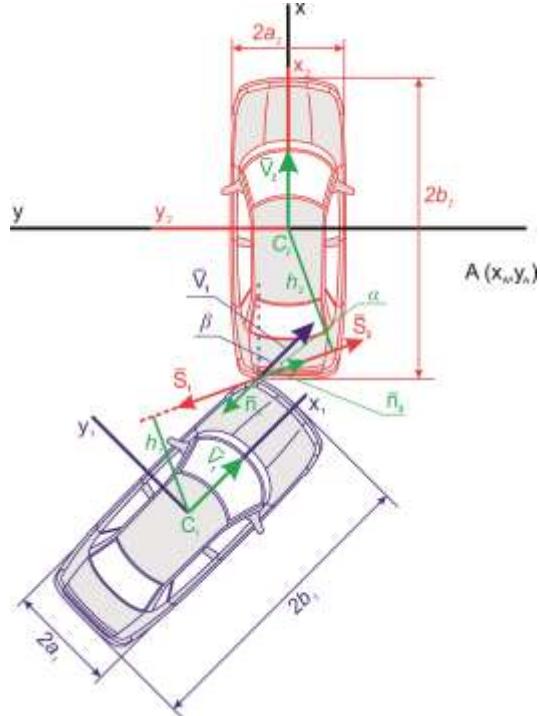
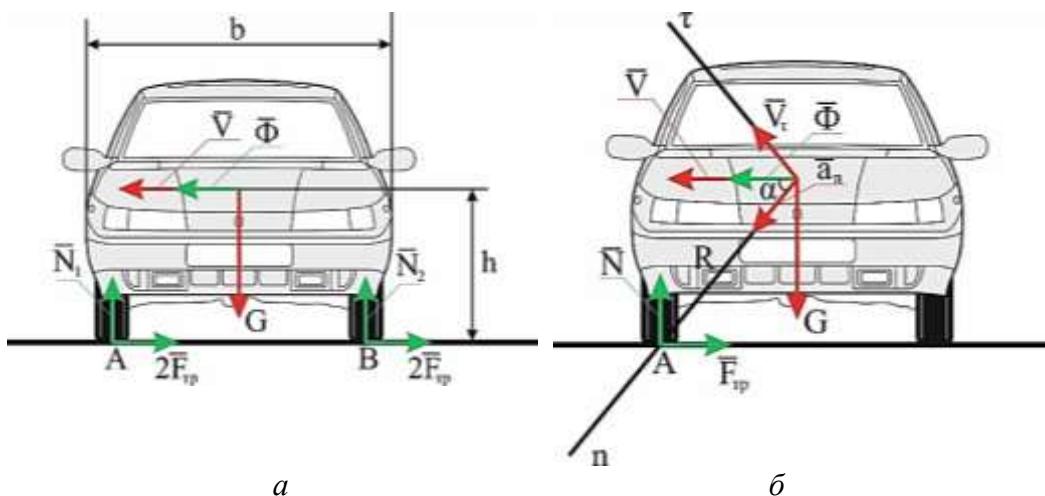


Рисунок 1 – Схема расчета

Таблица 1 - Основные уравнения движения, предложенные авторами

№	Физический смысл	Расчетная формула	Обозначение
1.	Системы уравнений моментов инерций и плеч импульсов	$\begin{cases} h_1 = x_1 \cdot \sin \alpha - y_1 \cdot \cos \alpha \\ h_2 = -x_2 \cdot \sin(\alpha + \beta) - y_2 \cdot \cos(\alpha + \beta) \end{cases};$ $\begin{cases} J_1 = \frac{m_1}{3} \cdot (a_1^2 + b_1^2) \\ J_2 = \frac{m_2}{3} \cdot (a_2^2 + b_2^2) \end{cases}$	$x_1, x_2$ и $y_1, y_2$ – координаты точки контакта в системе координат автомобиля; $a_1, b_1$ и $a_2, b_2$ – размеры автомобилей.
2.	Ударный импульс	$\bar{S} = -\frac{1 + \varepsilon}{G} \cdot (\bar{U}_1 \cdot \bar{n}_1 + \bar{U}_2 \cdot \bar{n}_2)$	$\varepsilon$ – коэффициент восстановления; $\bar{U}_1 \cdot \bar{n}_1$ ; $\bar{U}_2 \cdot \bar{n}_2$ – проекции скоростей; $G$ – показатель точки массы.
3.	Параметр точки массы	$G = \frac{m_1 + m_2}{m_1 \cdot m_2} + \frac{h_1^2}{J_1} + \frac{h_2^2}{J_2};$ $G = \frac{m_1 + m_2}{m_1 \cdot m_2} + \frac{3 \cdot (x_1 \cdot \sin \alpha - y_1 \cdot \cos \alpha)^2}{m_1 \cdot (a_1^2 + b_1^2)} \dots$ $\dots + \frac{3 \cdot [-x_2 \cdot \sin(\alpha + \beta) - y_2 \cdot \cos(\alpha + \beta)]^2}{m_2 \cdot (a_2^2 + b_2^2)}$	$m_1$ и $m_2$ – массы транспортных средств; $h_1$ и $h_2$ – плечи импульсов; $J_1$ и $J_2$ – моменты инерции автомобилей.
4.	Угловые скорости транспортных средств в процессе их перемещения после контакта	$\Omega_{1z} = \frac{S \cdot h_1}{J_1}; \quad \Omega_{2z} = \frac{S \cdot h_2}{J_2}$	$S$ – ударный импульс.
5.	Дифференциальные уравнения движения, позволяющие описать поступательно-вращательное перемещение ТС в общем виде	$\begin{cases} m \cdot \frac{dx_{1c}}{dt^2} = \sum F_{kx}^e \\ m \cdot \frac{dy_{1c}}{dt^2} = \sum F_{ky}^e \\ J_c \cdot \frac{d\phi}{dt^2} = 2 M_c (\bar{F}_k^e) \end{cases}$	

Исходя из данных схем определяются системы уравнений, которые в целом позволяют определять ряд параметров перемещения ТС в состоянии инерционного опрокидывания без участия водителя. Системы уравнений отображены в таблице 2.



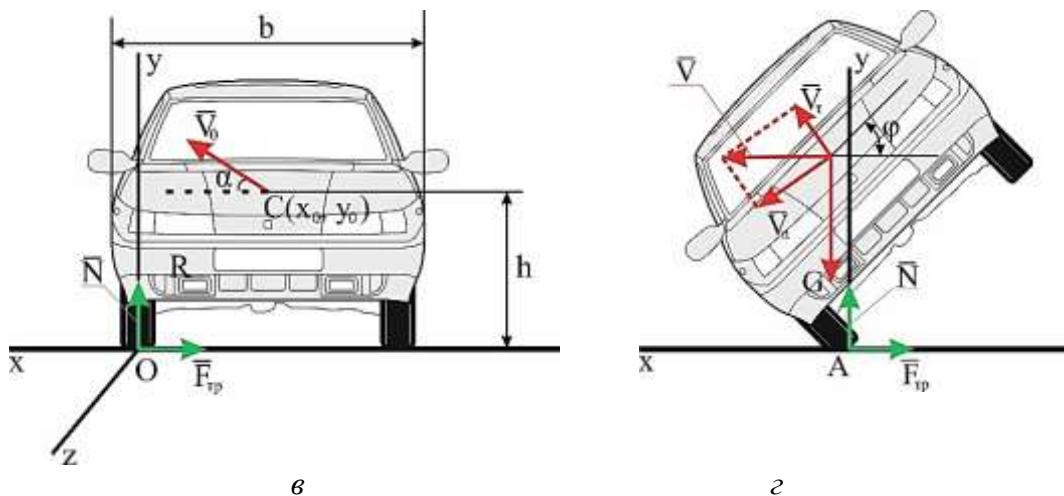


Рисунок 2 - Расчетная схема опрокидывания транспортного средства

Таблица 2 - Основные уравнения опрокидывания, предложенные авторами

№	Физический смысл	Расчетная формула	Обозначение
1.	Условие опрокидывания	$\Phi \geq \frac{m \cdot g \cdot b}{2 \cdot h}$	$m$ – масса транспортного средства; $g$ – ускорение свободного падения; $b$ – соответствующий размер транспортного средства; $h$ – высота центра масс.
2.	Критическая скорость опрокидывания	$V_1 \geq \sqrt{\frac{g \cdot b \cdot R^3}{2 \cdot h^3}}$	$h$ – высота центра масс.; $R$ – радиус (плечо) опрокидывающей силы.
3.	Дифференциальные уравнения движения тела	$\begin{cases} m \cdot \frac{dV}{dt} = \sum F_{k\tau} \\ m \cdot \frac{V^2}{\rho} = \sum F_{kn} \\ J_z \cdot \frac{d^2\varphi}{dt^2} = \sum M_z(F_k) \end{cases}$	$\rho$ – радиус кривизны траектории.
4.	Угловая скорость при одном перевороте объекта	$\omega_T = \sqrt{2 \cdot \frac{G}{J_z} \cdot \frac{1}{\sqrt{4 \cdot h^2 + b^2}} \cdot (2 \cdot h - b) + \omega_0^2}$	$\omega$ – угловая скорость; $J$ – момент инерции
5.	Скорость при перевороте объекта более одного раза	$V_{0\tau} = V \cdot k ; \quad V = \omega \cdot R$	где $k$ – коэффициент восстановления.

### Теория

Также для полного понимания и комплексного подхода к исследованию сложного перемещения автомобиля (пример подобного показан на рисунке 3) необходимо получить уравнения расчета перемещения при прямой и обратной задачи [5, 6], что позволяет определять траектории движения транспортных средств как от точки контакта, так и от точек их конечного расположения после контакта, перемещения и остановки.

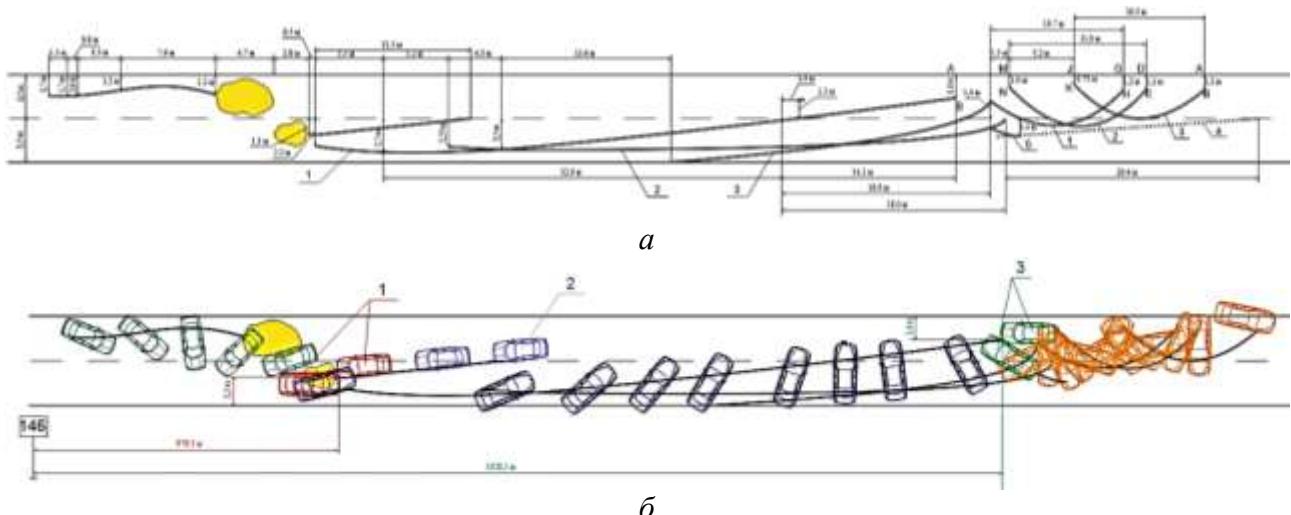


Рисунок 3 – Пример сложного перемещения транспортных средств.

Движение происходит с заблокированными колесами. На тело действуют внешняя сила тяжести и силы трения между колесом и покрытием дороги (рис. 4) [7-10].

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_{C_1} = -2 F'_{mp} \cos(\theta) - 2 F''_{mp} \sin(\theta), \\ m_1 \ddot{y}_{C_1} = -2 F'_{mp} \sin(\theta) - 2 F''_{mp} \cos(\theta), \\ J_{C_1} \ddot{\varphi} = -2 F'_{mp}^{\Omega} l_1 - 2 F''_{mp}^{\Omega} l_2, \end{cases} \quad (1)$$

где  $J_{C_1}$  – момент инерции автомобиля относительно оси проходящей через т.  $C_1$  перпендикулярно плоскости  $C_1xy$ .

$$J_{C_1} = \frac{m_1(a^2 + b^2)}{3}.$$

Учитывая осевую симметрию

$$F'_{mp} = k_1 f N_1, \quad F''_{mp} = k_1 f N_2, \quad F'_{mp}^{\Omega} = k_2 f N_i;$$

$$F'_{mp} = F''_{mp} \frac{l_2 \cos \beta}{l_1 \cos \alpha},$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий ориентацию протектора на ось движения;

$f$  – коэффициент трения.

Реакции определяются из условия равновесия, указанного на рисунке 5

$$\begin{cases} N_1 + N_2 - G = 0 \\ -N_1 l_1 \cos \alpha + N_2 l_2 \cos \beta = 0 \end{cases}; \quad N_1 = \frac{N_2 l_2 \cos \beta}{l_1 \cos \alpha}, \quad (2)$$

$$\begin{cases} N_2 = \frac{G l_1 \cos \alpha}{l_1 \cos \alpha + l_2 \cos \beta} \\ N_1 = \frac{G l_2 \cos \beta}{l_1 \cos \alpha + l_2 \cos \beta} \end{cases}. \quad (3)$$

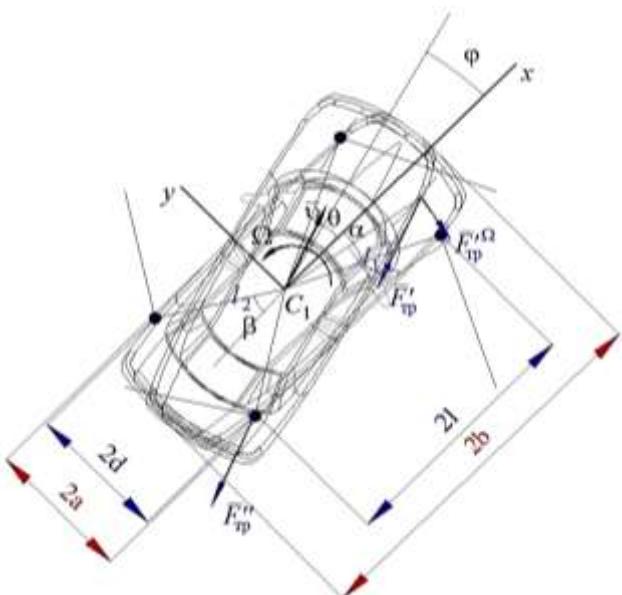


Рисунок 4 – Расчетная схема прямой и обратной задачи

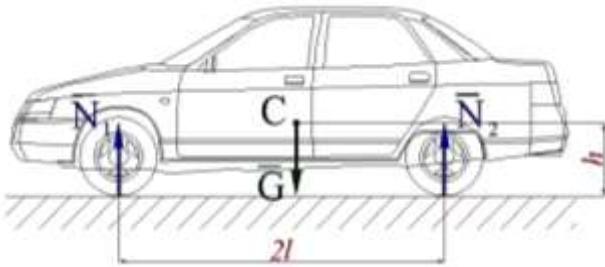


Рисунок 5 – Расчетная схема прямой и обратной задачи

Записываем уравнения (1) с учетом (3)

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_{C_1} = -k_1 f \frac{m_1 g l_2 \cos \beta}{l_1 \cos \alpha + l_2 \cos \beta} \cos(\theta) - k_1 f \frac{m_1 g l_1 \cos \alpha}{l_1 \cos \alpha + l_2 \cos \beta} \sin(\theta) \\ m_1 \ddot{y}_{C_1} = -k_1 f \frac{m_1 g l_2 \cos \beta}{l_1 \cos \alpha + l_2 \cos \beta} \sin(\theta) - k_1 f \frac{m_1 g l_1 \cos \alpha}{l_1 \cos \alpha + l_2 \cos \beta} \cos(\theta) \\ J_{C_1} \ddot{\varphi} = -k_2 f \frac{m_1 g l_2 \cos \beta}{l_1 \cos \alpha + l_2 \cos \beta} l_1 - k_2 f \frac{m_1 g l_1 \cos \alpha}{l_1 \cos \alpha + l_2 \cos \beta} l_2 \end{cases}$$

Интегрируя уравнения (1) дважды получаем уравнения движения автомобиля в плоскости полотна дорожного покрытия в общем виде:

$$\begin{cases} x_{C_1} = \left( -k_1 f \frac{g l_2 \cos \beta}{l_1 \cos \alpha + l_2 \cos \beta} \cos(\theta) - k_1 f \frac{g l_1 \cos \alpha}{l_1 \cos \alpha + l_2 \cos \beta} \sin(\theta) \right) \frac{t^2}{2} + C_1 t + C_2 \\ y_{C_1} = \left( -k_1 f \frac{g l_2 \cos \beta}{l_1 \cos \alpha + l_2 \cos \beta} \sin(\theta) - k_1 f \frac{g l_1 \cos \alpha}{l_1 \cos \alpha + l_2 \cos \beta} \cos(\theta) \right) \frac{t^2}{2} + C_3 t + C_4 \\ \varphi = \left( -k_2 f \frac{m_1 g l_2 \cos \beta}{J_C (l_1 \cos \alpha + l_2 \cos \beta)} l_1 - k_2 f \frac{m_1 g l_1 \cos \alpha}{J_C (l_1 \cos \alpha + l_2 \cos \beta)} l_2 \right) \frac{t^2}{2} + C_5 t + C_6 \end{cases}$$

Константы интегрирования  $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6$ , зависят от начальных условий. При  $t=0$

$$\begin{cases} \dot{x}_{C_1} = v_1 \cos \theta \\ \dot{y}_{C_1} = v_1 \sin \theta \\ \dot{\varphi} = \Omega_{01} \end{cases} \quad \begin{cases} x_{C_1} = 0 \\ y_{C_1} = 0 \\ \varphi = 0 \end{cases}$$

Конечным условием, является момент остановки транспортного средства. При  $t=t$

$$\begin{cases} \dot{x}_{C_1} = 0 \\ \dot{y}_{C_1} = 0 \\ \dot{\phi} = 0 \end{cases} ; \quad \begin{cases} x_{C1} = x_{1C_1} \\ y_{C1} = y_{1C_1} \\ \phi = \phi_1 \end{cases}$$

Окончательно уравнения движения, после остановки, имеют вид:

$$\begin{cases} 0 = \left( -k_1 f \frac{gl_2 \cos \beta}{l_1 \cos \alpha + l_2 \cos \beta} \cos(\theta) - k_1 f \frac{gl_1 \cos \alpha}{l_1 \cos \alpha + l_2 \cos \beta} \sin(\theta) \right) t + v_1 \cos \theta \\ 0 = \left( -k_1 f \frac{gl_2 \cos \beta}{l_1 \cos \alpha + l_2 \cos \beta} \sin(\theta) - k_1 f \frac{gl_1 \cos \alpha}{l_1 \cos \alpha + l_2 \cos \beta} \cos(\theta) \right) t + v_1 \sin \theta \\ 0 = \left( -k_2 f \frac{m_1 gl_2 \cos \beta}{J_{C_1} (l_1 \cos \alpha + l_2 \cos \beta)} l_1 - k_2 f \frac{m_1 gl_1 \cos \alpha}{J_{C_1} (l_1 \cos \alpha + l_2 \cos \beta)} l_2 \right) t + \Omega_{01} \end{cases} \quad (4)$$

В общем виде, для определения кинематических параметров движения в любой момент времени, уравнения движения записываются в форме:

$$\begin{cases} x_{1C_1} = \left( -k_1 f \frac{gl_2 \cos \beta}{l_1 \cos \alpha + l_2 \cos \beta} \cos(\theta) - k_1 f \frac{gl_1 \cos \alpha}{l_1 \cos \alpha + l_2 \cos \beta} \sin(\theta) \right) \frac{t^2}{2} + v_1 \cos \theta \cdot t \\ y_{1C_1} = \left( -k_1 f \frac{gl_2 \cos \beta}{l_1 \cos \alpha + l_2 \cos \beta} \sin(\theta) - k_1 f \frac{gl_1 \cos \alpha}{l_1 \cos \alpha + l_2 \cos \beta} \cos(\theta) \right) \frac{t^2}{2} + v_1 \sin \theta \cdot t \\ \phi_1 = \left( -k_2 f \frac{m_1 gl_2 \cos \beta}{J_C (l_1 \cos \alpha + l_2 \cos \beta)} l_1 - k_2 f \frac{m_1 gl_1 \cos \alpha}{J_C (l_1 \cos \alpha + l_2 \cos \beta)} l_2 \right) \frac{t^2}{2} + \Omega_{01} t \end{cases} \quad (5)$$

Аналогичные уравнения движения получаем для второго тела – участника ДТП. Таким образом, решая систему уравнений (4), (5) будут определены кинематические характеристики движения, а в контексте ДТП конечное положение транспортного средства.

Однако, для решения вышеприведенных уравнений и их систем на практике необходимы соответствующие исходные данные, получить которые возможно исключительно путем проведения инструментальных замеров [11-12]. Одним из таких параметров является коэффициент бокового скольжения ТС по опорной поверхности. С целью определения данного параметра была предложена полезная модель, которая относится к измерительной технике, в частности, к устройствам оперативного измерения коэффициента сцепления заблокированного автомобильного колеса при его скольжении по твердому дорожному покрытию [19]. Ходовые испытания данной установки показаны на рисунке 6. Конструктивный универсализм установки позволяет в равной степени измерять коэффициент сцепления заблокированного автомобильного колеса, привязанного к конкретному ДТП, с дорожным покрытием непосредственно на месте ДТП, как при прямом торможении, так и при боковом скольжении под различными углами колеса относительно вектора волочения.



Рисунок 6 – Ходовые испытания измерительной установки.

Установка была протестирована в различных дорожных условиях и запатентована (рис. 7) в соответствии с Российским законодательством [20].



Рисунок 7 – Патент на полезную модель

### Результаты и обсуждение

Предложенные способы были протестированы на примерах реальных дорожно-транспортных происшествий с заранее известным результатом, установленным с помощью средств транспортной трасологии (рис. 8).



Рисунок 8 – Фотоснимки с места ДТП.

Использование предложенного способа показало свою состоятельность [3], поскольку позволило определить параметры перемещения транспортных средств после контакта (табл. 3), которые коррелируют с фактическими параметрами перемещения транспортных средств.

Таблица 3 - Полученные значения расчета

$J_1$	$J_2$	$G$	$S$	$V_{1x}$	$V_{1y}$
9794,63 кг·м <sup>2</sup>	644106,21 кг·м <sup>2</sup>	0,6·10 <sup>-3</sup>	47,9·10 <sup>-3</sup> Н·с	8,6 м/с	1,19 м/с
$V_{2x}$	$V_{2y}$	$h_1$	$h_2$	$\Omega_{1z}$	$\Omega_{2z}$
1,22 м/с	0,12 м/с	0,89 м	1,6 м	4,35 рад/с	0,12 рад/с

### Выводы

Предложенные способы позволяют дифференцированно и комплексно подходить к расчетам различных ситуаций, связанных со сложным перемещением (как горизонтальной неустойчивостью перемещения, так и вертикальной) транспортных средств при дорожно-транспортном происшествии. Также предлагается способ решения прямой и обратной задачи перемещения. Данные способы приводят к более полному пониманию механизма происшествия в целом.

Для целей расчета был предложен способ получения исходных данных, а именно измерительная техника в виде установки измерения коэффициента сцепления заблокированного автомобильного колеса при его скольжении по твердому дорожному покрытию в условиях сложного перемещения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Евтуков С.А., Васильев Я.В. Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий / СПб.: ООО «Издательство ДНК». - 2-е изд., 2005. – 288 с.
2. McHenry R.R. Development of a computer program to aid the investigation of highway accidents. Tech.Rep.DOT/HS 800 621, Contact Number FH-11-7526, Cornel Aeronautical Laboratory, Inc. (CALSPAN Corp.), 1971.
3. Novikov I.A., Degtyar A.N., Lazarev D.A., Makhonin V.L. Analysis of vehicles complex displacement in the process of investigation of vehicle crash [Электронный ресурс] / MATEC Web of Conferences 341, 00070 (2021). – Режим доступа: <https://DOI:10.1051/matecconf/202134100070>.
4. Новиков А.Н., Новиков И.А., Лазарев Д.А., Махонин В.Л. Исследование потери курсовой и вертикальной устойчивости транспортного средства при проведении дорожно-транспортной экспертизы // Мир транспорта и технологических машин. - 2022. - №3-1(78). - С. 41-49.
5. McHenry R.R. Mathematical Reconstruction of highway accidents. Washington, D.C.: DOT HS 801-405, Calspan Report № ZQ-5341-V-2, 1975.
6. Суворов Ю.Б. Судебная дорожно-транспортная экспертиза: Учебное пособие. – М.: Экзамен, Право и закон, 2003. – 208 с.
7. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики: Учеб. для втузов. - 15-е изд., стер. - М.: Высш. шк., 2007. - 415 с.
8. Райс Э. Динамика системы твердых тел / Под ред. Ю.А. Архангельского и В.Г. Демина. - Пер. с англ. - В 2-х томах. - Т. 1. - М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. - 467 с.
9. Eichenwald A.A. Theoretical Physics: General Mechanics, PH Librokom, Moscow. – 2016. - 328 р.
10. Eichenwald A.A. Theoretical Physics: Solid State Mechanics, PH Librokom, Moscow. – 2011. –224 р.

11. Novikov I.A., Lazarev D.A. Experimental Installation for Calculation of Road Adhesion Coefficient of Locked Car Wheel // Transportation Research Procedia. - V. 20. – 2017. - P. 463-467.
12. Novikov I.A., Lazarev D.A., Kudinov D.V. The estimation of friction coefficient of vehicle's blocked wheel given with contact patch of the tread with the road surface // International Journal of Applied Engineering Research. - V. 21. – 2015. - P. 42721-42724.
13. Valishchev M.G., Povzner A.A. General Physics Course // PH Lan, Moscow. – 2010. - P. 576.
14. Яблонский А.А., В.М. Никифорова Курс теоретической механики: Учеб. пособие для вузов. - 13-е изд., исправ. - М.: Интеграл-Пресс, 2009. – 603 с.
15. Евтюков С.С., Гладушевский И.С. Совершенствование методики исследования замедления ТС при эксплуатации летних шин с разной высотой протектора // Мир транспорта и технологических машин. - 2020. - №1. - С. 72-78.
16. Евтюков С.С., Гладушевский И.С. Оценка свойств замедления автомобиля при использовании зимнего типа шин на укатанном снежном покрытии // Вестник гражданских инженеров. - 2019. - №5. - С. 217-221.
17. Евтюков С.А., Голов Е.В. Реконструкция дорожно-транспортных происшествий. - СПб.: Издательский дом «Петрополис», 2017. - 204 с.
18. ГОСТ 33078-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Методы измерения сцепления колеса автомобиля с покрытием.
19. Пат. 210446 Российская Федерация, СПК G 01 M 17/00 (2022.02). Установка для измерения коэффициента сцепления при сложном движении заблокированного автомобильного колеса с дорожным покрытием.
20. Пат. 217339 Российская Федерация, СПК G 01 N 19/02 (2023.02). Установка для измерения коэффициента сцепления при сложном движении заблокированного автомобильного колеса с дорожным покрытием.

**Новиков Иван Алексеевич**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

Д.т.н., профессор, директор транспортно-технологического института, профессор кафедры эксплуатации и организации движения автотранспорта

E-mail: ooows@mail.ru

**Дегтярь Андрей Николаевич**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

К.т.н., доцент, заведующий кафедрой теоретической механики и сопротивления материалов

E-mail: tws@mail.ru

**Лазарев Дмитрий Александрович**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

К.т.н., доцент кафедры эксплуатации и организации движения автотранспорта

E-mail: avtotech31@mail.ru

**Махонин Виталий Леонидович**

Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, г. Орёл

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

Аспирант

E-mail: triumf.expert@bk.ru

---

I.A. NOVIKOV, A.N. DEGTYAR, D.A. LAZAREV, V.L. MAKHONIN

**THE IMPROVEMENT OF ROAD TRANSPORT EXPERTISE ON THE BASIS OF INVESTIGATION OF THE PROCESS OF VEHICLE MOVEMENT IN THE STATE OF LOSS OF CONTROL**

*Abstract. In this work, an analysis of problematic issues arising during the production of road transport expertise was carried out. The need arises to calculate the movement of vehicles (hereinafter referred to as vehicles) in non-standard conditions within the framework of studies of the mechanism of a road traffic accident (hereinafter referred to as an accident), since standard calculation tools do not allow solving some problems facing the expert now. Basic equations and systems of equations have been identified that allow solving this problem at various levels of complexity. A solution has been proposed to obtain the necessary input data for this task.*

**Keywords:** road traffic accident, vehicle, road traffic, investigation, expertise, complex movement, motor vehicles

## BIBLIOGRAPHY

1. Evtyukov S.A., Vasil`ev YA.V. Rassledovanie i ekspertiza dorozhno-transportnykh proisshestviy / SPb.: OOO «Izdatel`stvo DNK». - 2-e izd., 2005. - 288 s.
2. McHenry R.R. Development of a computer program to aid the investigation of highway accidents. Tech.Rep.DOT/HS 800 621, Contact Number FH-11-7526, Cornel Aeronautical Laboratory, Inc. (CALSPAN Corp.), 1971.
3. Novikov I.A., Degtyar A.N., Lazarev D.A., Makhonin V.L. Analysis of vehicles complex displacement in the process of investigation of vehicle crash [Elektronnyy resurs] / MATEC Web of Conferences 341, 00070 (2021). - Rezhim dostupa: <https://DOI:10.1051/matecconf/202134100070>.
4. Novikov A.N., Novikov I.A., Lazarev D.A., Makhonin V.L. Issledovanie poteri kursovoy i vertikal`noy ustoychivosti transportnogo sredstva pri provedenii dorozhno-transportnoy ekspertizy // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2022. - №3-1(78). - S. 41-49.
5. McHenry R.R. Mathematical Reconstruction of highway accidents. Washington, D.C.: DOT HS 801-405, Calspan Report № ZQ-5341-V-2, 1975.
6. Suvorov Yu.B. Sudebnaya dorozhno-transportnaya ekspertiza: Uchebnoe posobie. - M.: Ekzamen, Pravo i zakon, 2003. - 208 s.
7. Targ S.M. Kratkiy kurs teoreticheskoy mekhaniki: Ucheb. dlya vtuzov. - 15-e izd., ster. - M.: Vyssh. shk., 2007. - 415 s.
8. Raus E. Dinamika sistemy tverdykh tel / Pod red. Yu.A. Arkhangelskogo i V.G. Demina. - Per. s angl. - V 2-kh tomakh. - T. 1. - M.: Nauka. Glavnaya redaktsiya fiziko-matematicheskoy literatury, 1983. - 467 s.
9. Eichenwald A.A. Theoretical Physics: General Mechanics, PH Librokom, Moscow. - 2016. - 328 p.
10. Eichenwald A.A. Theoretical Physics: Solid State Mechanics, PH Librokom, Moscow. - 2011. - 224 p.
11. Novikov I.A., Lazarev D.A. Experimental Installation for Calculation of Road Adhesion Coefficient of Locked Car Wheel // Transportation Research Procedia. - V. 20. - 2017. - R. 463-467.
12. Novikov I.A., Lazarev D.A., Kudinov D.V. The estimation of friction coefficient of vehicle's blocked wheel given with contact patch of the tread with the road surface // International Journal of Applied Engineering Research. - V. 21. - 2015. - R. 42721-42724.
13. Valishchev M.G., Povzner A.A. General Physics Course // PH Lan, Moscow. - 2010. - P. 576.
14. Yablonskiy A.A., V.M. Nikiforova Kurs teoreticheskoy mekhaniki: Ucheb. posobie dlya vuzov. - 13-e izd., isprav. - M.: Integral-Press, 2009. - 603 s.
15. Evtyukov S.S., Gladushevskiy I.S. Sovershenstvovanie metodiki issledovaniya zamedleniya TS pri ekspluatatsii letnikh shin s raznoy vysotoy protektora // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2020. - №1. - S. 72-78.
16. Evtyukov S.S., Gladushevskiy I.S. Otsenka svoystv zamedleniya avtomobiliya pri ispol`zovanii zim-nego tipa shin na ukatannom snezhnom pokrytii // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. - 2019. - №5. - S. 217-221.
17. Evtyukov S.A., Golov E.V. Rekonstruktsiya dorozhno-transportnykh proisshestviy. - SPb.: Izdatel`skiy dom "Petropolis, 2017. - 204 s.
18. GOST 33078-2014. Dorogi avtomobil`nye obshchego pol`zovaniya. Metody izmereniya stsepleniya kol`esa avtomobiliya s pokrytiem.
19. Pat. 210446 Rossiyskaya Federatsiya, SPK G 01 M 17/00 (2022.02). Ustanovka dlya izmereniya koeffitsienta stsepleniya pri slozhnom dvizhenii zablokirovannogo avtomobil`nogo kolesa s dorozhnym pokrytiem.
20. Pat. 217339 Rossiyskaya Federatsiya, SPK G 01 N 19/02 (2023.02). Ustanovka dlya izmereniya koeffitsienta stsepleniya pri slozhnom dvizhenii zablokirovannogo avtomobil`nogo kolesa s dorozhnym pokrytiem.

**Novikov Ivan Alekseevich**

Belgorod state technological university  
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46  
Doctor of technical sciences  
E-mail: ooows@mail.ru

**Degtyar Andrey Nikolaevich**

Belgorod state technological university  
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46  
Candidate of technical sciences  
E-mail: tws@mail.ru

**Lazarev Dmitry Alexandrovich**

Belgorod state technological university  
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46  
Candidate of technical sciences  
E-mail: avtotech31@mail.ru

**Makhonin Vitaly Leonidovich**

Orel State university  
Address: 302030, Russia, Orel, Moskovskaya str., 77  
Graduate student  
E-mail: triumf.expert@bk.ru

## ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ

Научная статья

УДК 656.01

doi:10.33979/2073-7432-2023-4-2(83)-87-94

К.А. МАГДИН

# СНИЖЕНИЕ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ С ПРИМЕНЕНИЕМ МИКРОСКОПИЧЕСКОГО ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

*Аннотация. В рамках исследования проведен анализ статистики дорожно-транспортных происшествий по городу Набережные Челны. Выявлен наиболее аварийный участок улично-дорожной сети, проведены натурные исследования и построена имитационная модель. Предложены три варианта улучшения ситуации на данном участке, для всех построены имитационные модели, проведены виртуальные эксперименты, проанализированы результаты с целью выявления наиболее оптимального варианта.*

**Ключевые слова:** транспортный поток, компьютерный эксперимент, имитационная модель, автомобильные выбросы, коэффициент безопасности

### **Введение**

Автомобилизация является ключевым фактором урбанизации, поскольку транспортная инфраструктура формирует городскую среду: дороги, транспортные системы, архитектурные сооружения. В 2005 году в мире ежедневно совершалось около 7,5 миллиардов автомобильных поездок. По прогнозам экспертов, к 2050 году ожидается в три-четыре раза больше автомобильных поездок по сравнению с 2005 годом, а грузооборот может увеличиться втрое [1].

Урбанизация и автомобилизация создают экологические проблемы в крупных городах и промышленных центрах. В настоящее время рост городов создает множество рисков, связанных с транспортным сектором. Рост аварийности и загрязнение воздуха вредными веществами, содержащимися в отработавших газах автомобилей, являются наиболее значимыми из таких рисков.

Целью работы является снижение воздействия автотранспорта на окружающую среду и повышение дорожной безопасности с помощью методов сравнительного анализа и имитационного моделирования.

### **Материал и методы**

Некоторые исследователи предлагают для оценки загрязнения воздуха автомобильным транспортом подход, основанный на взаимосвязи между ГИС и детерминированным моделированием для лучшего представления пространственного и временного распределения выбросов. Он был применен к городу Оран в Алжире, где городское развитие привело к перемещению населения из центра города в периферийные районы. Такая эволюция городского облика увеличивает потребность в мобильности и обостряет проблемы циркуляции и перегруженности транспортных средств, работающих на углеводородном топливе, которые являются источником значительных выбросов загрязняющих веществ и негативного воздействия на окружающую среду и здоровье людей. Авторы статьи оценивают выбросы количественно в пространстве и времени, используя модель EMISENS [2].

Учитывая такие негативные последствия автомобилизации, как заторы и загрязнение воздуха по мере роста урбанизации, муниципалитеты некоторых городов вводят плату за въезд во внутренние районы города. Авторы исследования [3] изучают проблему маршрутизации транспортных средств, рассматривая различные схемы взимания платы за проезд для нескольких типов городов. Были проведены комплексные вычислительные эксперименты для изучения различных схем ценообразования и определения факторов, влияющих на эффективность таких схем. Результаты экспериментов показывают, что некоторые цены может даже увеличить выбросы в центре города, и более высокая стоимость проезда не обязательно означает снижение выбросов.

Автомобильный транспорт является также заметным источником выбросов в атмосферу парниковых газов [4]. В транспортном секторе автомобильный транспорт вносит наибольший вклад в глобальное потепление, на долю автомобильного транспорта в РФ приходится 2/3 валовых выбросов парниковых газов от всех видов транспорта [5, 6].

Авторы исследования [7] предлагают количественную оценку выбросов парниковых газов от автомобилей на примере Амфиссы, города среднего размера в Греции. Согласно полученным результатам, объемы эмиссии парниковых газов транспортными потоками значительны даже для городов среднего размера. Таким образом, районы с нулевым или ограниченным движением, где нельзя использовать частные транспортные средства, могут стать хорошим примером для городов с нулевым CO<sub>2</sub>, которые используют более стабильные и экологически чистые виды транспорта в центре города.

Состояние транспортной инфраструктуры имеет большое значение для развития транспорта и его воздействия на окружающую среду. Эффективные объекты инфраструктуры позволяют значительно снизить загрязнение окружающей среды транспортными потоками.

Из-за высокого коэффициента капиталоемкости инфраструктурных проектов необходимы системы поддержки принятия решений (СППР). Они позволяют оценить эффективность мероприятий по реконструкции инфраструктуры и оптимизировать управление дорожным движением.

Автор исследования [8] указывает, что устойчивая городская среда может быть улучшена путем экологизации различных её сфер:

1) интеграция социальных, экономических и экологических факторов создания устойчивой городской среды;

2) обеспечение качественной экологической инфраструктуры в городе и вокруг него для поддержания качества окружающей среды в устойчивом городе;

3) экологизация архитектурной и инженерно-строительной среды для удовлетворения потребностей сообщества и, в то же время, достижения состояния экологического баланса;

4) экологизация всей промышленной деятельности в городе, включая энергетику, транспорт, переработку отходов и т.д.;

5) экологизация потребностей населения и внедрение экологической этики.

В связи с тем, что города становятся ключевыми участниками борьбы с климатическими изменениями и с другими социальными и экологическими проблемами, авторы [9] изучают влияние пяти ключевых мер для транспорта, которые были приняты для значительного сокращения выбросов парниковых газов и получения существенных экономических выгод. Они включают:

1) планирование компактного землепользования с целью снижения спроса на пассажирские перевозки с использованием моторизованных транспортных средств;

2) изменения в расписании и повышение эффективности пассажирских перевозок;

3) электрификация и эффективность пассажирских перевозок;

4) логистика грузовых перевозок;

5) эффективность и электрификация грузовых транспортных средств.

Эти меры имеют большой потенциал для улучшения общественного здравоохранения в городских районах при одновременном смягчении последствий изменения климата.

Однако перечисленные методы подходят не для каждого города, поскольку они влекут за собой большие затраты, и городской администрации трудно покрыть эти расходы, а в городах с небольшим населением это даже невозможно. Поэтому малым и средним городам необходимы более низкозатратные методы решения существующих экологических и транспортных проблем [10-12].

Например, авторы [13] изучают типичный город среднего размера Ланфан, граничащий с двумя мегаполисами (Пекином и Тяньцзинем) в качестве целевого объекта для исследований выбросов транспортных средств. Исследование показало, что с 2018 по 2025 год выбросы в Ланфане будут увеличиваться быстрее, чем в Пекине и Тяньцзине, что указывает на тот факт, что города среднего размера могут стать значительным источником загрязнения

воздуха в Китае. Авторы [14] сосредоточены на использовании существующей инфраструктуры (светофоров) для решения этих проблем, вместо инвестиций в новую инфраструктуру. Надлежащее планирование работы светофоров и управление ими улучшают транспортные потоки. В то же время это улучшение достигается без каких-либо дополнительных затрат и мер, требующих использования специализированных приложений у водителей. Авторы [15] предлагают подход к координации сигналов электронного контроля устойчивости транспортного средства (EVSC), целью которого является обеспечение «зеленой волны» для автомобилей скорой помощи.

Одной из проблем правильной организации транспортных потоков является сбор адекватных данных. Для того чтобы решить проблему пробок, необходимо иметь надежную систему сбора информации об условиях проезда и разработанный метод анализа собранной информации. В статье [16] рассматривают возможности сбора необходимой информации с помощью видеокамер и методы их совершенствования. Специфической особенностью данного исследования является регистрация пешеходов, переходящих дорогу на перекрестке.

Соблюдение правил дорожного движения является проверенным методом уменьшения заторов на дорогах, поскольку это приводит к уменьшению числа дорожно-транспортных происшествий. Например, авторы статей [17-19] предлагают новую модель работы автоматизированных систем, обеспечивающих соблюдение правил дорожного движения, и выявляют факторы, оказывающие влияние на их эффективную работу.

Существует мнение: «Больше дорог — меньше заторов», однако опыт показывает, что новые дороги не всегда снижают транспортную нагрузку. Чем комфортнее путешествовать по какому-либо региону, тем больше людей покупают автомобили, что приводит к новым заторам. Согласно [20], сокращение числа конфликтных точек, где пересекаются пассажирские потоки, потоки моторизованных и немоторизованных транспортных средств, является наиболее эффективным способом повышения безопасности транспортной системы.

Поскольку уровень автомобилизации в городах растет, дорожно-транспортные происшествия (ДТП) происходят чаще, что сказывается на дорожном движении, образовании заторов и загрязнении атмосферы городов вредными выбросами. Для восстановления трафика следует изучить время для принятия срочных мер. Авторы [21] исследуют и прогнозируют время восстановления трафика и максимальное количество автомобилей в пробках на основе характеристик транспортного потока и улично-дорожной сети (УДС), используя модель накопления прибывающих/отъезжающих транспортных средств. Авторы использовали случайный инцидент для проверки метода.

### **Теория**

Большое количество ДТП на конкретном участке УДС характеризуется как с точки зрения качества дорожного движения, так и с точки зрения загрязнения окружающей среды, поэтому при выборе перекрестка для моделирования была использована карта ДТП, а также данные из ГИБДД. На основании анализа данных по числу ДТП в г. Набережные Челны для моделирования был выбран перекресток на пересечении проспекта Вахитова и проспекта Сююмбике, характеризующийся повышенной аварийностью. Предположительно, на данном участке УДС большое количество ДТП обусловлено большой нагрузкой на перекресток в часы пик, особенно в вечерние, поскольку дорожные заторы вызваны преимущественно перемещением горожан между промышленными и жилыми районами.

Для более детального выявления проблем рассматриваемого участка УДС был использован программный комплекс имитационного моделирования Anylogic в версии 8.5.1. Данная программа позволяет подробно рассмотреть проблемные места перекрестка, выявить основные причины дорожных заторов, а также оценить эффективность возможных вариантов улучшения сложившейся ситуации. Данные о плотности автотранспортного потока, его скорости, фазах светофора, плотности пешеходного потока и особенностях рассматриваемого участка были собраны с применением визуального метода подсчета интенсивности автотранспорта. Суть данного метода заключается в визуальном наблюдении и фиксировании количества автомобилей, проезжающих по автодороге.

С целью оценки экологической ситуации на рассматриваемом участке УДС были рассчитаны выбросы загрязняющих веществ от автотранспорта по формуле 1. Методика расчета выбросов транспортных средств соответствует национальному стандарту России ГОСТ Р 56162-2019 [22].

$$M_{Pi}^3 = \frac{P_c}{60} \sum_1^{N_c} \sum_1^k (M'^i_{i,k} * G_k), \quad (1)$$

где  $P_c$  – продолжительность запрещающего сигнала светофора (в том числе желтого) в течение 20 минут, с;

$N_c$  – количество циклов действия сигнала светофора, запрещающего движение, в течение 20-минутного промежутка времени, с;

$M_{i,k}$  – удельный выброс загрязняющих веществ транспортными средствами, г/мин;

$G_k$  – количество транспортных средств, стоящих в очереди вокруг перекрестка в конце каждого цикла действия сигнала светофора, запрещающего движение.

Для рассмотренных вариантов регулирования пешеходных и автотранспортных потоков на анализируемом участке УДС была рассчитана величина коэффициента дорожной безопасности по ГОСТ 33100-2014 [23].

### **Результаты и обсуждение**

На основании результатов натурных исследований была построена имитационная модель анализируемого участка УДС, которая является его цифровым двойником. Проведены виртуальные эксперименты на модели, которые подтвердили факт большого скопления автомобилей, движущихся по проспекту Вахитова в сторону жилых районов в часы пик. На остальных направлениях также наблюдается скопление автомобилей, но не в таком количестве как на проспекте Вахитова. Высокая плотность транспортного потока на указанном направлении обусловлена тем, что г. Набережные Челны - крупный промышленный центр, а ПАО «КАМАЗ» является градообразующим предприятием, численность сотрудников которого превышает 30000 человек, причем, все заводы и другие структурные подразделения ПАО «КАМАЗ» расположены компактно за пределами селитебной зоны на площади более 68000 км<sup>2</sup>. Таким образом, неуклонно возрастающий уровень автомобилизации и большое количество участников дорожного движения, перемещающихся в одном направлении между промышленной и селитебной зонами, превышают возможности имеющейся транспортной инфраструктуры. Высокая плотность транспортного потока на рассматриваемом перекрестке не только увеличивает вероятность ДТП, но и приводит к возрастанию массовых выбросов вредных веществ, эмитируемых потоком автомобилей. Ситуация усугубляется тем, что в районе рассматриваемого участка УДС довольно плотная жилая застройка, и поблизости расположены прогулочные зоны, торговые и развлекательные центры, что актуализирует задачу поиска оптимальных, быстрореализуемых и малозатратных решений по увеличению пропускной способности, экологической и дорожной безопасности исследуемого участка УДС.

Имитационная модель рассматриваемого перекрёстка в формате 3D представлена на рисунке 1. Красной фигурой отмечен образующийся затор на проспекте Вахитова в сторону жилой зоны. На рисунке 2 представлена часть структуры имитационной модели.

Данные, полученные при проведении виртуального эксперимента на модели, показали, что максимальное время проезда перекрестка на проблемном направлении может достигать 25 минут, а пройденное за это время расстояние составляет от 1 км до 1,2 км. Передвигаясь с такой скоростью, один среднестатистический легковой автомобиль выбросит в атмосферу около 16 г вредных веществ. При этом коэффициент безопасности, рассчитанный как отношение средней скорости на рассматриваемом участке к скорости въезда на этот участок, составляет менее 0,4, что характеризует участок как очень опасный.

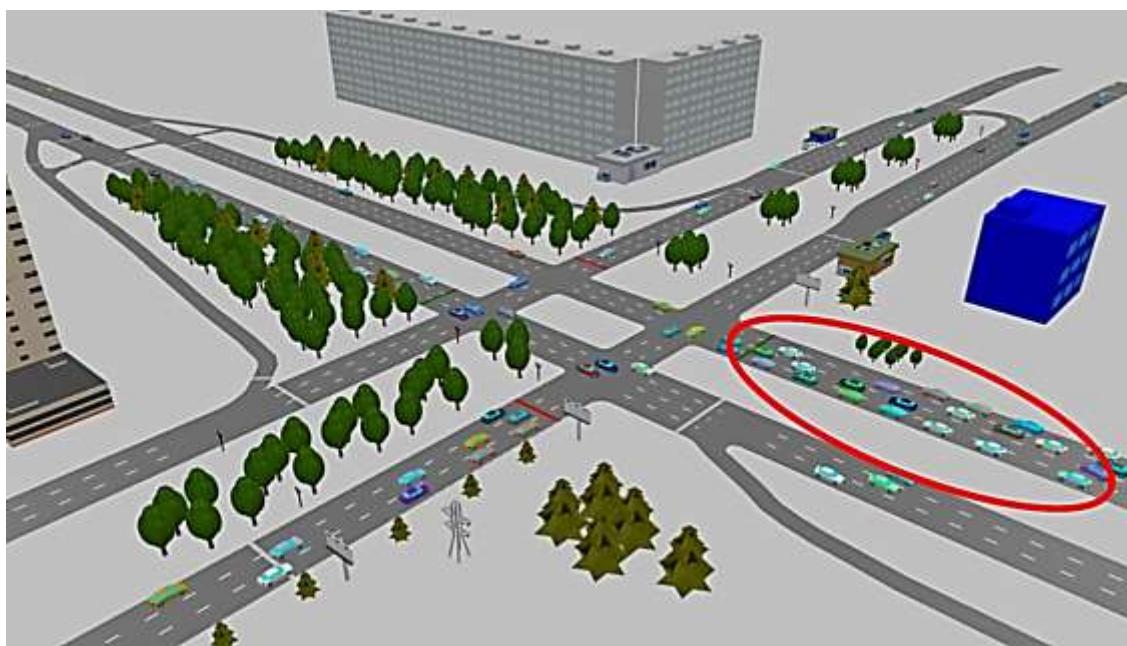


Рисунок 1 – Имитационная модель перекрестка проспект Вахитова и проспект Сююмбике в городе Набережные Челны

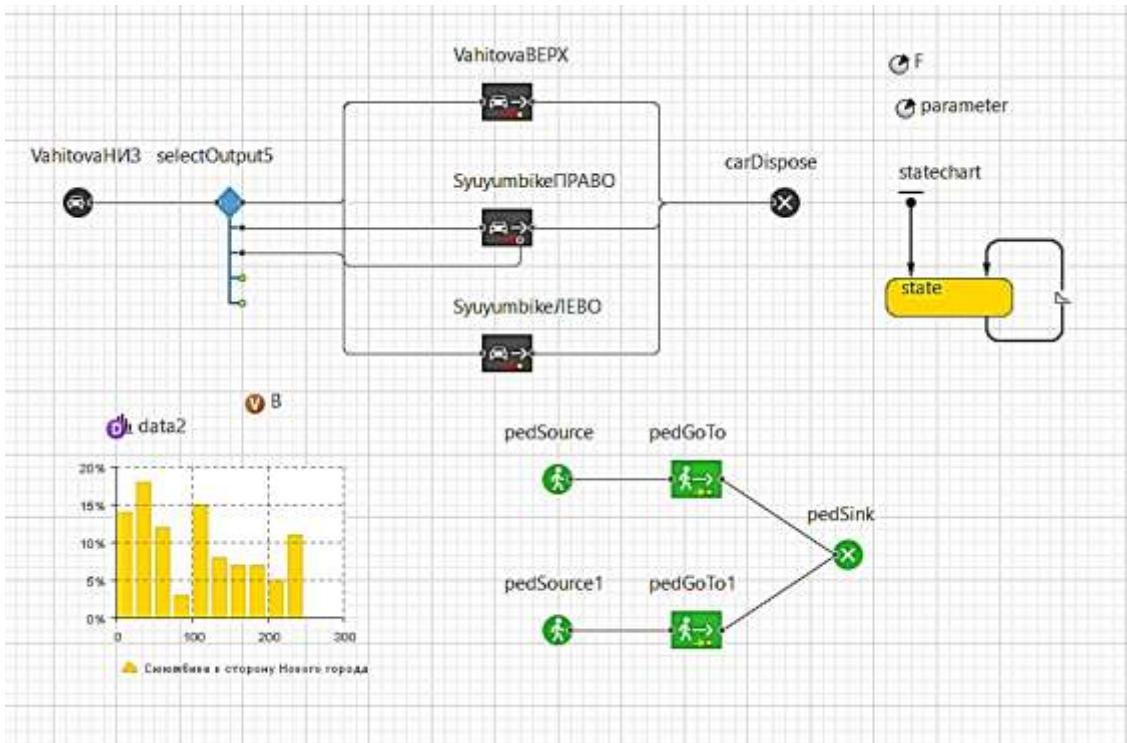


Рисунок 2 – Часть структуры имитационной модели в программе Anylogic версии 8.5.1

После детального исследования рассматриваемого участка УДС было предложено 2 варианта улучшения ситуации. Первый предусматривает расширение проезжей части путем добавления еще одной полосы движения по проспекту Вахитова в сторону жилой зоны. Это возможно благодаря тому, что г. Набережные Челны проектировался с учетом перспективного увеличения числа автомобилей и имеет широкие разделительные полосы между направлениями движения одного проспекта. В настоящее время проспект Вахитова имеет 3 полосы движения, было предложено увеличить их количество до 4.

Вторым вариантом является оптимизация фаз работы светофора на перекрестке. Был проведен оптимационный эксперимент, в результате которого были подобраны оптимальные для этого перекрестка фазы светофорного регулирования: время работы зеленого сигнала для проспекта Вахитова увеличилось на 11 секунд и составило 43 секунды, а время работы красного сигнала сократилось на 7 секунд и составило 28 секунд работы.

Также была построена имитационная модель, которая объединяла в себе оба предложенных варианта: увеличение числа полос и оптимизацию фаз светофорного регулирования. Результаты имитационных экспериментов представлены в таблице 1. В данной таблице показаны результаты моделирования только по направлению в сторону жилой зоны на проспекте Вахитова, поскольку на других направлениях не произошло критических изменений при эксперименте с вариантами улучшения.

Таблица 1 - Результаты имитационных экспериментов с различными вариантами на проспекте Вахитова в направлении жилой зоны

Критерии	Модель перекрестка как есть	1 вариант (увеличение полос движения)	2 вариант (регулирование фаз светофора)	Объединенный вариант
Интенсивность движения, авт./час	523	832	655	1168
Среднее время проезда, мин	15	11	13.4	8.6
Максимальное время проезда, мин	25,0	22,5	24,1	10,3
Выбросы загрязняющих веществ, г	1143	928	1018	741
Коэффициент безопасности	0,37	0,62	0,51	0,73

Как видно из таблицы 1, наиболее эффективным является решение, которое предусматривает и увеличение числа полос, и оптимизацию фаз светофорного регулирования. Однако, если рассматривать варианты по отдельности, то очевидно, что увеличение ширины проезжей части является более результативным по сравнению с изменением фаз работы светофора. Но данное решение является финансово более затратным, и на его реализацию требуется более продолжительное время. Поэтому для рассматриваемого участка УДС наиболее малозатратным и быстрореализуемым является вариант, предусматривающий оптимизацию регулирования фаз светофора. Его внедрение будет способствовать уменьшению времени проезда и снижению суммарных выбросов загрязняющих веществ на 11 %; при этом коэффициент безопасности увеличивается на 38 %.

### Выходы

Результаты натурных исследований и анализ статистики ДТП были использованы в качестве исходных данных для разработки модели движения автомобильного транспорта на одном из наиболее загруженных перекрестков г. Набережные Челны. В результате экспериментов по компьютерному моделированию было установлено, что при текущих параметрах транспортного потока и конфигурации наблюдается большая загруженность перекрестка. Разработаны 3 варианта снижения транспортной нагрузки на данном участке УДС, для которых были построены имитационные модели, проведены виртуальные эксперименты и осуществлен сравнительный анализ. Все способы позволяют улучшить параметры транспортного потока и снизить ущерб, наносимый окружающей среде и жителям города. Самым малозатратным и быстрореализуемым является вариант, предусматривающий оптимизацию регулирования фаз светофора.

Использование имитационного моделирования участков улично-дорожной сети является адекватным методом оценки эффективности принимаемых решений, благодаря которому можно сравнивать различные варианты между собой, а также наблюдать влияние предложенных вариантов в совокупности.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кретов М.А. Регулирование автомобилизации и автомобилепользования как элемент стратегического управления городской транспортной системой // Экономика, управление, финансы: материалы IV Междунар. науч. конф. – Пермь. - 2015. – С. 210-213.
2. Rahal F., Hadjou Z., Blond N., Aguejjad R. Croissance urbaine, mobilité et émissions de polluants atmosphériques dans la région d'Oran, Algérie // CyberGeo: European Journal of Geography. – 2018. – P. 850.
3. Zhang S., Campbell A.M., Ehmke J.F. Impact of congestion pricing schemes on costs and emissions of commercial fleets in urban areas // Networks. – 2019. – 73 (4). – P. 466-489.
4. Trofimenco Y.V., Yakubovich A.N., Yakubovich I.A, Shashina E.V. Modeling of influence of climate change character on the territory of the cryolithozone on the value of risks for the road network // International journal

of online and biomedical engineering. – 2020. – V. 16(7). – P. 65-74.

5. Trofimenko Yu., Komkov V., Donchenko V. Problems and prospects of sustainable low carbon development of transport in Russia. International Conference on Sustainable Cities // IOP Publishing. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2018. – V. 177 (1). - №012014.

6. Trofimenko Yu.V., Komkov V.I., Donchenko V.V., Potapchenko T.D. Model for the assessment greenhouse gas emissions from road transport // Periodicals of Engineering and Natural Sciences. – 2019. – V. 7(1). – P. 465-473.

7. Aggelakakis A., Anagnostopoulou A., Tromaras A., Boile M., Mantzinou N. Influence of traffic emissions on urban air quality: a casestudy of a medium sized city // Data Analytics: Paving the Way to Sustainable Urban Mobility. CSUM. Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2018. – 879. – P. 323-329.

8. Tetior A. Deep ecologization as topical basis of ecological construction // CESB 07 PRAGUE Conference. – 2007. - P. 514-519.

9. Venturini G., Karlsson K., Münster M. Impact and effectiveness of transport policy measures for a renewable-based energy system // EnergyPolicy. – 2019. – 133. – 110900.

10. Mavrin V., Magdin K., Barinov A., Boyko A., Cherpakov A. Improving the Road Network of Small Cities // Proceeding of the 6-th international conference on vehicle technology and intelligent transport systems (VEHITS). – 2020. – P. 634-641.

11. Makarova I., Magdin K., Mavrin V., Shepelev V., Barinov A. Improving the City's Transport System Safety by Regulating Traffic and Pedestrian Flows // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2021. – 195. – P. 518-527.

12. Buyvol P., Yakupova G., Mukhametdinov E., Shepelev V. Mobility and Road Safety Improvement by Optimizing Smart City Infrastructure Parameters: A Case Study // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2021. – 195. – P. 507-517.

13. Sun S., Jin J., Xia M., Liu Y., Gao M., Zou C., Wang T., Lin Y., Wu L., Mao H., Wang P. - Vehicle emissions in a middle-sized cityof China: Current status and future trends // Environment International. – 2020. – 137. – 105514.

14. Villagra A., Alba E., Luque G. A better understanding on traffic light scheduling: New cellular GAs and new in-depth analysis of solutions // Journal of Computational Science. –2020. – 41. – 101085.

15. Kang, W., Xiong, G., Lv, Y., Dong, X., Zhu, F., Kong, Q., Traffic signal coordination for emergency vehicles // 17th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Qingdao, China. – 2014. – P. 157-161.

16. Shepelev V., Aliukov S., Nikolskaya K., Das A., Slobodin I. The use of multi-sensor video surveillance system to assess the capacity of the road network // Transport and Telecommunication. – 2020. – 21 (1). – P. 15-31.

17. Marusin A., Marusin A., Ablyazov T. Transport infrastructure safety improvement based on digital technology implementation // Atlantis Highlights in Computer Sciences. - Vol. 1. International Conference on Digital Transformation in Logistics and Infrastructure. – 2019. – P. 353-357.

18. Evtukov S., Karelina M., Terentyev A. A method for multi-criteria evaluation of the complex safety characteristic of a road vehicle // Transportation Research Procedia. – 2018. – 36. – P. 149-156.

19. Simdiankin A., Byshov N., Uspensky I. A method of vehicle positioning using a non-satellite navigation system // Transportation Research Procedia. – 2018. – P. 732-740.

20. Kazhaev A., Almetova Z., Shepelev V., Shubenkova K. Modelling urban route transport network parameters with traffic, demand and infrastructural limitations being considered // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2018. – 177. – 012018.

21. Wang S., Djahel S., McManis J. A Multi-Agent based vehicles re-routing system for unexpected traffic congestion avoidance // 17<sup>th</sup>International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Qingdao, China. – 2014. – P. 2541-2548.

22. ГОСТ Р 56162-2019. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу.

23. ГОСТ 33100-2014. Дороги автомобильные общего пользования.

**Магдин Кирилл Алексеевич**

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

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

Аспирант

E-mail: kirillround@gmail.com

---

K.A. MAGDIN

## **REDUCING THE NEGATIVE IMPACT OF ROAD TRANSPORT ON THE ENVIRONMENT USING MICROSCOPIC SIMULATION**

**Abstract.** As part of the study, an analysis of the statistics of road accidents in the city of Naberezhnye Chelny was carried out. The most emergency section of the road network has been identified, field studies have been carried out and a simulation model has been built. Three options for improving the situation at this site are proposed, simulation models are built for all, virtual experiments are conducted, the results are analyzed in order to identify.

**Keywords:** traffic flow, computer experiment, simulation model, automobile emissions, safety factor

## BIBLIOGRAPHY

1. Kretov M.A. Regulirovanie avtomobilizatsii i avtomobilepol'zovaniya kak element strategicheskogo upravleniya gorodskoy transportnoy sistemoy // Ekonomika, upravlenie, finansy: materialy IV Mezhdunar. nauch. konf. - Perm'. - 2015. - S. 210-213.
2. Rahal F., Hadjou Z., Blond N., Aguejad R. Croissance urbaine, mobilit et missions de polluants atmosphriques dans la rgiond'Oran, Algrie // CyberGeo: European Journal of Geography. - 2018. - R. 850.
3. Zhang S., Campbell A.M., Ehmke J.F. Impact of congestion pricing schemes on costs and emissions of commercial fleets in urban areas // Networks. - 2019. - 73 (4). - R. 466-489.
4. Trofimenko Y.V., Yakubovich A.N., Yakubovich I.A., Shashina E.V. Modeling of influence of climate change character on the territory of the cryolithozone on the value of risks for the road network // International journal of online and biomedical engineering. - 2020. - V. 16(7). - P. 65-74.
5. Trofimenko Yu., Komkov V., Donchenko V. Problems and prospects of sustainable low carbon development of transport in Russia. International Conference on Sustainable Cities // IOP Publishing. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. - 2018. - V. 177 (1). - №012014.
6. Trofimenko Yu.V., Komkov V.I., Donchenko V.V., Potapchenko T.D. Model for the assessment green-house gas emissions from road transport // Periodicals of Engineering and Natural Sciences. - 2019. - V. 7(1). - P. 465-473.
7. Aggelakakis A., Anagnostopoulou A., Tromaras A., Boile M., Mantzinou N. Influence of traffic emissions on urban air quality: a casestudy of a medium sized city // Data Analytics: Paving the Way to Sustainable Urban Mobility. CSUM. Advances in Intelligent Systems and Computing. - 2018. - 879. - R. 323-329.
8. Tetior A. Deep ecologization as topical basis of ecological construction // CESB 07 PRAGUE Conference. - 2007. - R. 514-519.
9. Venturini G., Karlsson K., Mnster M. Impact and effectiveness of transport policy measures for a renewable-based energy system // EnergyPolicy. - 2019. - 133. - 110900.
10. Mavrin V., Magdin K., Barinov A., Boyko A., Cherpakov A. Improving the Road Network of Small Cities // Proceeding of the 6-th international conference on vehicle technology and intelligent transport systems (VEHITS). - 2020. - P. 634-641.
11. Makarova I., Magdin K., Mavrin V., Shepelev V., Barinov A. Improving the City's Transport System Safety by Regulating Traffic and Pedestrian Flows // Lecture Notes in Networks and Systems. - 2021. - 195. - P. 518-527.
12. Buyvol R., Yakupova G., Mukhametdinov E., Shepelev V. Mobility and Road Safety Improvement by Optimizing Smart City Infrastructure Parameters: A Case Study // Lecture Notes in Networks and Systems. - 2021. - 195. - P. 507-517.
13. Sun S., Jin J., Xia M., Liu Y., Gao M., Zou C., Wang T., Lin Y., Wu L., Mao H., Wang P. - Vehicle emissions in a middle-sized cityof China: Current status and future trends // Environment International. - 2020. - 137. - 105514.
14. Villagra A., Alba E., Luque G. A better understanding on traffic light scheduling: New cellular GAs and new in-depth analysis of solutions // Journal of Computational Science. -2020. - 41. - 101085.
15. Kang, W., Xiong, G., Lv, Y., Dong, X., Zhu, F., Kong, Q., Traffic signal coordination for emergency vehicles // 17th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Qingdao, China. - 2014. - R. 157-161.
16. Shepelev V., Aliukov S., Nikolskaya K., Das A., Slobodin I. The use of multi-sensor video surveillance system to assess the capacity of the road network // Transport and Telecommunication. - 2020. - 21 (1). - R. 15-31.
17. Marusin A., Marusin A., Ablyazov T. Transport infrastructure safety improvement based on digital technology implementation // Atlantis Highlights in Computer Sciences. - Vol. 1. International Conference on Digital Transformation in Logistics and Infrastructure. - 2019. - R. 353-357.
18. Evtiukov S., Karelina M., Terentyev A. A method for multi-criteria evaluation of the complex safety characteristic of a road vehicle // Transportation Research Procedia. - 2018. - 36. - R. 149-156.
19. Simdiankin A., Byshov N., Uspensky I. A method of vehicle positioning using a non-satellite navigation system // Transportation Research Procedia. - 2018. - R. 732-740.
20. Kazhaev A., Almetova Z., Shepelev V., Shubenkova K. Modelling urban route transport network parameters with traffic, demand and infrastructural limitations being considered // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2018. - 177. - 012018.
21. Wang S., Djahel S., McManis J. A Multi-Agent based vehicles re-routing system for unexpected traffic congestion avoidance // 17thInternational IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Qingdao, China. - 2014. - R. 2541-2548.
22. GOST R 56162-2019. Vybrosy zagravnyayushchikh veshchestv v atmosferu.
23. GOST 33100-2014. Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya.

**Magdin Kirill Alekseevich**

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering  
Address: 190005, Russia, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya str., 4  
Postgraduate student  
E-mail: kirillround@gmail.com

Научная статья

УДК 656.13

doi:10.33979/2073-7432-2023-4-2(83)-95-103

Р.Н. САФИУЛЛИН, Р.Р. САФИУЛЛИН, В.А. ЕФРЕМОВА, М.Р. БАШИРОВ

## **МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ СОСТАВА БОРТОВОЙ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

***Аннотация.** В статье проанализировано влияние внедрения бортовых информационно-управляющих систем в состав транспортного средства на техническое состояние грузовых транспортных средств. Определены недостатки функционирования используемых бортовых систем. Предложена методика обоснования состава бортовой информационно-управляющей системы грузового транспорта на основании требований, предъявляемых к функционированию конкретного транспортного средства. Представлен алгоритм сбора и обработки информации, получаемой от таких систем, с возможностью отслеживания текущего состояния компонентов в режиме реального времени и разработки модели для прогнозирования технического состояния систем транспортных средств. Разработан метод комплексной оценки бортовых информационно-управляющих систем для выбора оптимального состава систем в зависимости от весомости критерии, влияющих на эффективность функционирования транспортного средства.*

**Ключевые слова:** бортовая информационно-управляющая система, метод комплексной оценки бортовых систем, грузовой транспорт, повышение эффективности использования грузового транспорта

### **Введение**

Для повышения уровня автоматизации грузовых транспортных средств (ТС) необходимо использование инновационных технологий нового поколения в области бортовых информационно-управляющих систем (БИУС) [1, 2]. Расширение функциональных возможностей бортовых информационно-управляющих систем транспортного средства способствует повышению эффективности, производительности и надежности транспортных средств путем непрерывного мониторинга технического состояния компонентов и возможности их управления в режиме реального времени. Разработка и внедрение систем удаленного диагностирования позволяют предотвратить аварийные ситуации и сократить простои, а также обеспечивают прогнозирование ресурса, повышение безопасности сотрудников, снижение затрат на обслуживание и ремонт, а также сокращение парниковых выбросов и других негативных последствий.

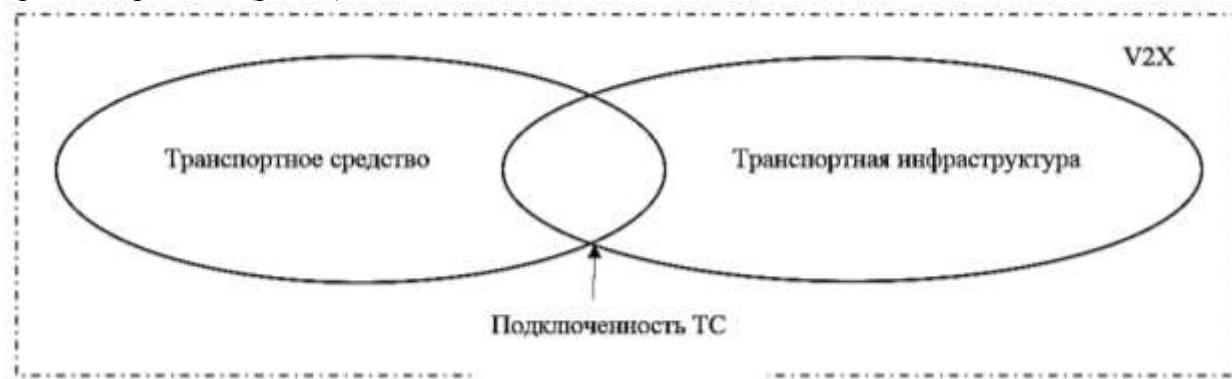
С целью повышения контроля за техническим состоянием транспортных средств и планирования ремонтных работ ТС, необходимо разработать новые методы удаленного диагностирования. Внедрение интеллектуально-транспортных систем в транспортные средства позволит создать полностью автоматизированные транспортные устройства. Одно из важных направлений исследований - разработка технических решений, которые обеспечат интеллектуальное взаимодействие разных объектов транспортного процесса при помощи информационных и коммуникационных технологий [3-5].

### **Материал и методы**

В ходе написания статьи используются метод квалиметрии и моделирование. Внедрение бортовых информационно-управляющих систем способствует развитию технологии V2X (Vehicle-to-Everything - автомобиль, подключенный ко всему). V2X - технология связи, которая объединяет дорожную инфраструктуру, транспортные средства и систему управления в единую информационную систему. При помощи данной технологии все элементы системы

непрерывно обмениваются данными в режиме реального времени и на основе полученных данных осуществляют взаимодействие и принимают решения о дальнейших действиях [6].

Использование технологии V2X в создании беспилотных логистических коридоров для грузовых транспортных средств имеет большой потенциал. Это позволит грузовым ТС получать полную информацию о дорожном движении - скорости, дистанции, препятствиях на пути и прочее, следовательно, точнее определять требуемые действия при движении. Однако, для массового внедрения беспилотных перевозок необходимо, чтобы не только транспортное средство было оснащено бортовыми информационно-управляющими системами, но и вся дорожная инфраструктура использовала технологию V2X [7]. Степень взаимодействия транспортного средства и транспортной инфраструктуры определяет подключенность транспортного средства (рис. 1).



*Рисунок 1 - Степень подключенности транспортного средства в технологии V2X*

### **Теория**

К технологии V2X предъявляются высокие требования, направленные на обеспечение безопасности при движении беспилотного транспортного средства. Составляющие технологии можно разделить на 3 части: сценарии, коммуникации и приложения. Сценарии являются основой технологии. Для определения безопасности функционирования системы тестирования проводятся в лабораторных условиях и полевых испытаниях на основании прописанных сценариев развития событий при движении ТС. Виртуальное функционирование проводится при помощи программных симуляторов. Преимуществом виртуального тестирования является не большие капиталовложения и возможность проработки существенного количества сценариев. Однако, недостаток заключается в невозможности прописать сценарии всех возможных вариантов развития событий при дорожном движении, следовательно, результат тестирования может быть неверным. Связь соединяет все объекты в сценариях. Если транспортное средство получает ошибочные данные в процессе движения, это может привести к некорректной работе систем принятия решений беспилотного транспортного средства [8]. Для повышения точности проводимых исследований предложена архитектура тестирования бортовых информационно-управляющих систем, включающих в себя платформу моделирования, коммуникационный модуль V2X, имитатор GNSS, блок создания помех и имитатор шины CAN (рис. 2).

В настоящее время технология все еще находится на стадии разработки, требует тестирования и создания методического аппарата оценивания эффективности от внедрения системы [9].

Платформа моделирования воспроизводит череду сценариев движения ТС, генерирует динамические данные ТС (н-р, скорость ТС, положение, расстояние между ТС, трафик движения и пр.). Моделирование проводится на основе тестовых примеров. Сценарии могут включать в себя только подключенные ТС, следовательно, требуется внедрение интеллектуальных систем не только в ТС, но и в транспортную инфраструктуру. Коммуникационные модуль используется для установления информационного взаимодействия между двумя подключенными ТС. Коммуникационный модуль также может принимать и выводить информацию о техническом состоянии транспортного средства [10-12].

Тестирование корректности работы проводится посредством автомобильного шлюза. Основное требование – возможность удовлетворять требованиям сетевой безопасности технологии V2X. Архитектура тестирования состоит из 2 компонентов: тестируемой системой и самой тестовой системой. Тестируемая система включает в себя беспроводные устройства ТС, встроенные устройства ТС, шины, встроенную точку доступа, основную сеть и сервисную платформу. Тест-система подключается со стороны А и В (рис. 3). Тестовая система вводит тестовые данные в тестируемую систему. Тестируемая система генерирует ответ в соответствии с входными данными. На основании чего тестовая система проводит сравнение ожидаемых и фактических результатов и делает вывод о корректности работы тестируемой системы [13-15].



Рисунок 2 - Архитектура тестирования бортовых информационно-управляющих систем транспортного средства

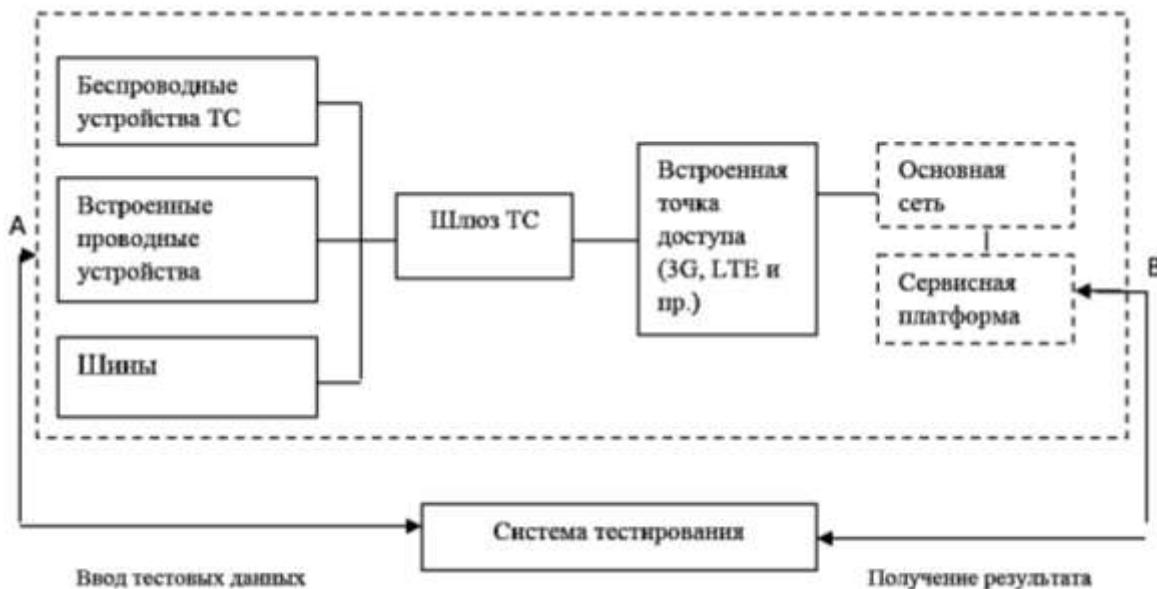


Рисунок 3 - Архитектура тестирования шлюза ТС

После проведения тестовых испытаний технология V2X подвергаются полевым испытаниям. Для полевых испытаний требуются большие капиталовложения, включающие в себя затраты на испытуемые машины, оснащение бортовыми информационно-управляющими системами беспилотных транспортных средств, оснащение полигона базовыми сетевыми солями, операторами движения и прочее. Для снижения стоимости крупномасштабного тестирования применяют метод параллельного тестирования, при

котором создается дополнительное виртуальное тестовое поле на основе реального тестового поля. Виртуальное тестовое поле дает возможность дублирования реальных тестируемых машин.

Главным недостатком работы БИУС является отсутствие постоянной записи и хранения информации в единой базе данных. Для решения этой проблемы был разработан алгоритм, который осуществляет сбор и обработку информации, получаемой с бортовых информационно-управляющих систем грузового транспорта. Данный алгоритм позволяет проанализировать работу систем, создать базу данных для отслеживания состояния используемой техники и прогнозировать работу систем (рис. 4).

Новизна внедрения технологий для повышения автономности транспортного средства требуют создания инструментов оценки потенциального влияния различных систем на свойства автомобиля [16].



*Рисунок 4 - Алгоритм сбора и обработки информации, получаемой с бортовых информационно-управляющих систем грузовых транспортных средств*

Для полноценного информационного взаимодействия транспортного средства с транспортной инфраструктурой и управлением необходимо внедрить технологии интеллектуальных транспортных систем. В процессе исследования установлено, что взаимодействие транспортного средства и транспортной инфраструктуры не реализовано на требуемом уровне. Предлагается производить оценку эффективности использования транспортного средства на основе многокритериального подхода, учитывающего широкий спектр факторов. Многокритериальный подход позволит обоснованно совершать выбор бортовых информационно-управляющих систем, а следовательно, организовать систему взаимодействующих транспортных средств, подключенных к транспортной инфраструктуре. Кроме того, мониторинг состояния систем транспортного средства в режиме реального времени, автоматическое

составление диаграмм рабочего процесса и возможность удаленного регулирования рабочего процесса позволит существенно сократить простои транспортного средства за счет предупреждения неисправностей транспортных средств [17].

### Расчет

Использование многокритериального подхода выбора бортовых информационно-управляющих систем производится путем определения основных параметров, влияющих на эффективность функционирования транспортного средства. Для каждого критерия определяются свойства, имеющие влияние на транспортное средство (рис. 5).

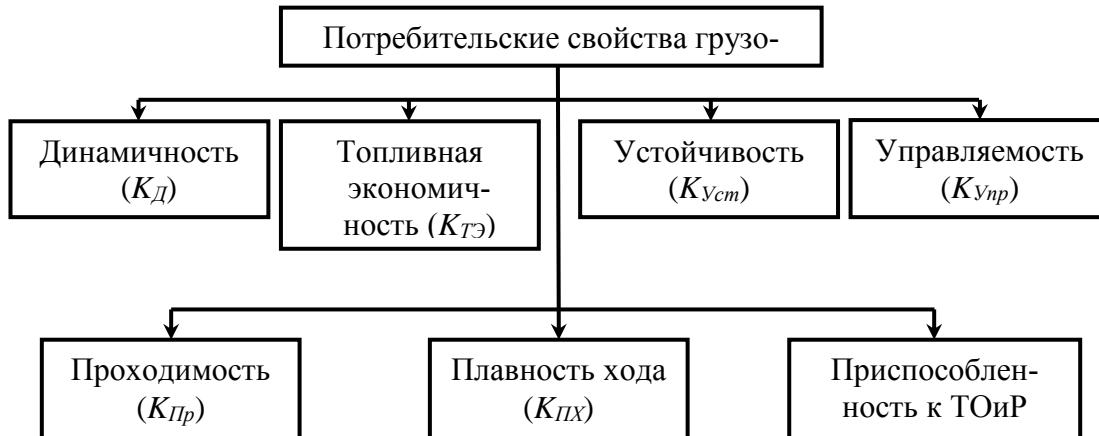


Рисунок 5 - Потребительские свойства грузовых транспортных средств

Для рационального выбора состава бортовых информационно-управляющих систем необходимо провести сравнительный анализ влияния систем на эффективность свойств ТС и выбрать тот комплекс, при котором каждое свойство будет иметь максимальное значение. Определив свойства каждого критерия и наиболее благоприятный состав БИУС можно повысить функциональные возможности грузового ТС. Общий алгоритм сравнительной оценки эффективности БИУС представлен на рисунке 6.



Рисунок 6 – Алгоритм оценки эффективности внедрения бортовых информационно-управляющих систем в состав грузового транспортного средства

В ходе исследования мы получаем зависимость улучшения эксплуатационных свойств ТС при применении БИУС, которое примет следующий вид:

$$100\% * \left( 1 + K_{\text{эф}} * \sum_{j=1}^k \frac{A}{r_j^\beta} \right) \rightarrow \max,$$

где  $K_{\text{эф}}$  – коэффициент улучшения каждого из эксплуатационных свойств (динамичность, топливная экономичность, устойчивость, управляемость, проходимость, плавность хода, приспособленность к техническому обслуживанию и ремонту);

$\sum_{j=1}^k \frac{A}{r_j^\beta}$  – сумма весовых коэффициентов, влияющих на данное эксплуатационное свойство.

## *Результаты*

Интегральная оценка производится с учетом коэффициента весомости, определяемого эксплуатационным путем:

$$\sum P = K_A P_A + K_T P_T \dots,$$

где  $K_A$  – коэффициент весомости соответствия;

$P_A$  - коэффициент.

$$K_j^k = K_j^{\exists} \sum_{i=1}^n K_{ii} G_i,$$

где  $K_{ii}$  - относительный показатель  $i$ -го свойства;

$G_i$  – коэффициент весомости свойства.

Средневзвешенный геометрический показатель качества транспортного средства рассчитывается по формуле:

$$K_{\Gamma} = \prod_{i=1}^n q_i^{\text{right})^{\text{mi}}} = \sqrt[b_1]{q_1} \cdot \sqrt[b_2]{q_2} \cdot \sqrt[b_3]{q_3} \cdot \dots \cdot \sqrt[b_n]{q_n},$$

где  $m_i = 1/b_i$  – показатель (коэффициент) весомости  $i$ -го свойства;

$v_i$  – знаменатель долевого коэффициента весомости  $i$ -го свойства;

$q_i$  – относительное значение  $i$ -го свойства;

$n$  – количество учитываемых свойств ( $i=1,2,\dots,n$ ).

Для корректного расчета средневзвешенного комплексного показателя качества ТС и коэффициентов весомости, выбор формулы осуществляется на основании соответствия цели оценки качества и последующему управлению, должно быть выполнено условие состоятельности. При определении коэффициента весомости сравнивают показатели свойств нескольких прототипов. В случае, когда число исследованных изделий равно или превышает количество выбранных показателей качества, используется метод регрессионного анализа параметрических показателей качества для выбора численных значений коэффициента весомости [18].

При расчете составляется система уравнений, в которой указываются приближенные зависимости комплексного показателя от выбранных показателей свойств для каждого изделия:

$$\left. \begin{aligned} K_1 &= m_1 P_{11} + m_2 P_{21} + \cdots + m_{1n} P_{n1} \\ K_2 &= m_1 P_{12} + m_2 P_{22} + \cdots + m_{1n} P_{n2} \\ &\vdots \\ K_r &= m_1 P_{1r} + m_2 P_{2r} + \cdots + m_{1n} P_{nr} \end{aligned} \right\},$$

где  $K_j$  – значение комплексного показателя свойств  $j$ -го образца ( $j = 1, 2, \dots, r$ ,  $r = n$ );

$r$  – количество комплексных показателей;

$n$  – количество показателей свойств продукции;

$P_{ij}$  – значение показателя свойства  $i$ -го качества  $j$ -го образца ( $i = 1, 2, \dots, n$ );

$m_i$  – коэффициент весомости  $i$ -го показателя свойства.

Коэффициенты весомости определяют математическим методом наименьших квадратов из подобной системы уравнений для коэффициентов регрессии. Следовательно, на основании данных расчетов можно осуществить обоснованный подбор состава бортовых информационно-управляющих систем с учетом весомости выбранных потребительских критериев транспортного средства [19, 20].

## Обсуждение

Таким образом, результаты исследований показывают, что для полноценного информационного взаимодействия транспортного средства при внедрении технологий V2X необходимо сформировать состав бортовой информационно-управляющей системы транспортных средств с целью повышения функциональности и производительности для решения задачи мониторинга и управления процессом перевозок [21, 22].

Предложенная методика обоснования состава бортовой информационно-

управляющей системы транспортных средств на основании требований, предъявляемых к функционированию конкретного транспортного средства и алгоритма сбора и обработки информации, получаемой от таких систем, позволит с возможностью отслеживания текущего состояния компонентов в режиме реального времени и разработки модели для прогнозирования технического состояния систем транспортных средств. Сформированная методика обоснования состава бортовой информационно-управляющей системы транспортных средств позволит:

- оценить текущее их техническое состояние и выявление основных проблем;
- выбор состава бортовой информационно-управляющей системы транспортных средств осуществляется с учетом особенности организации перевозок, бюджет и потребности пользователей;
- разработка и внедрение стандартов и процедур формирования бортовой информационно-управляющей системы транспортных средств, необходимо для эффективной эксплуатации транспортных средств;
- оценка результатов внедрения бортовой информационно-управляющей системы в транспортные средства и их влияния на качество и производительность перевозочного процесса, а также внесение корректировок и улучшений в методику в будущем.

### **Выводы**

В результате исследования проведен анализ современного состояния вопроса развития беспилотных технологий. Установлена необходимость обеспечения информационного взаимодействия транспортного средства с элементами транспортной инфраструктуры. Описан принцип работы и тестирования технологии V2X на основе зарубежного опыта, приведена архитектура тестирования бортовых информационно-управляющих систем транспортного средства. На основании выявленных недостатков существующих систем разработан алгоритм сбора и обработки информации, получаемой с БИУС, а также передачи полученной информации о работе систем на транспортную инфраструктуру и системы управления. Предложен метод комплексной оценки эффективности использования грузового транспортного средства с учетом коэффициента весомости выбранных потребительских свойств.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Сафиуллин Р.Н., Афанасьев А.С., Резниченко В.В. Концепция развития систем мониторинга и управления интеллектуальных технических комплексов [Электронный ресурс] / Записки Горного института. - №237. - 2019. - С. 322. – Режим доступа: <https://doi.org/10.31897/pmi.2019.3.322>
2. Jiao H. Intelligent research based on deep learning recognition method in vehicle-road cooperative information interaction system / Computational Intelligence and Neuroscience. - 2022. - doi: 10.1155/2022/4921211.
3. Grigorescu S., Trasnea B., Cocias T., Macesanu G. A survey of deep learning techniques for autonomous driving // Journal of Field Robotics. – №37(3). - 2020. – Р. 362-386. - doi: 10.1002/rob.21918.
4. Патент на изобретение №2536337. Бортовая информационная система беспилотного транспортного средства.
5. Тянь Х., Сафиуллин Р.Н., Сафиуллин Р.Р., Пантелейева Н.С. Алгоритм оценки эффективности функционирования телематической автоматизированной системы управления контролем движения транспортных средств // Известия Международной академии аграрного образования. – 2022. – №61. – С. 119-124.
6. Кисуленко Б.В. Безопасность автоматизированных и беспилотных автомобилей и её оценка при допуске к эксплуатации // Автомобильная промышленность. – 2022. – №2. – С. 7-13.
7. Борисов С.В., Колтунова Е.А., Кладиев С.Н. Совершенствование структуры имитационной модели тягового асинхронного электропривода рудничного электропровоза // Записки Горного института. - 2021. - Т. 247. – С. 1–8. - DOI: 10.31897/PMI.2021.1.12.
8. Safiullin R.N., Reznichenko V.V., Gorlatov D.V. Modeling and optimization of processes of transportation of heavy cargoes based on the automation of monitoring systems for the motor vehicles movement // IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences. – 2019. - №378(1). – 012069.
9. Safiullin R.N., Reznichenko V.V., Safiullin R.R. The software adaptive system for managing the heavy cargo transportation process based on the automated vehicle weight and size control system // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. - 1753(1). – 012063.
10. Safiullin R., Safiullin R., Reznichenko V., Epishkin A., Gorlatov D. Robust-adaptive method of power unit control based on the operational assessment of fuel quality indicators // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2022. - 990(1). – 012060.
11. Safiullin R., Pyrkin O., Marusin A., Boryaev A., Ruchkina Method for the level optimization of vehicle parameters when using fuels of different quality in cold climates // Transportation Research Procedia. – 2021. – 57. - P. 581-590.
12. Method of forming an integrated automated control system for intelligent objects.
13. Safiullin R., Epishkin A., Safiullin R., Haotian T. Conceptual approaches to traffic monitoring design under varying conditions of vehicle traffic // CEUR Workshop Proceedings. - 2021. – 2922. - P. 17-26.

14. Бузмаков С.А., Санников П.Ю., Кучин Л.С., Игошева Е.А., Абдулманова И.Ф. Применение беспилотной аэрофотосъемки для диагностики техногенной трансформации природной среды при эксплуатации нефтяного месторождения // Записки Горного института. – 2023. – Т. 260. – С. 180-193. - DOI: 10.31897/PMI.2023.22.
15. Курганов В.М., Грязнов М.В., Колобанов С.В. Оценка надежности функционирования экскаваторо-автомобильных комплексов в карьере // Записки Горного института. – 2020. – Т. 241. – С. 10-21. - DOI: 10.31897/pmi.2020.1.10.
16. Zhang L., Orosz G. Beyond-line-of-sight identification by using vehicle-to-vehicle communication // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2018. - Vol. 19(6). – Р. 1962-1972. - DOI:10.1109/TITS.2017.2747582.
17. Шпенст В.А. Комплексирование телекоммуникационных и электрических систем в шахтах и подземных сооружениях // Записки Горного института. – 2019. – Т. 235. – С. 78-87. - DOI: 10.31897/pmi.2019.1.78.
18. Шпенст В.А., Терлеев А.В. Оценка покрытия шлюзом Lorawan для Тприложений «Умного города» // Интеллектуальные инновации, системы и технологии. – 2021. – №220. – С. 513-521. - DOI:10.1007/978-981-33-6632-9\_45.
19. Grigorescu S., Trasnea B., Cocias T., Macesanu G. Survey of deep learning techniques for autonomous driving // Journal of Field Robotics. – 2022. - Vol. 37(3). - Р. 362-386. - DOI:10.1002/rob.21918.
20. Козярук А.Е., Камышьян А.М. Повышение энергетической эффективности электромеханической трансмиссии карьерного автосамосвала // Записки Горного института. – 2019. – Т. 239. – С. 576. - DOI: 10.31897/pmi.2019.5.576.
21. Патент РФ № 2013149686/08. Бортовая информационная система беспилотного транспортного средства.
22. Brummelen V., O'Brien M., Gruyer D., Najjaran H. Autonomous vehicle perception: The technology of today and tomorrow // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2018. - Vol. 89. - Р. 384-406. - DOI: 10.1016/j.trc.2018.02.012.

**Сафиуллин Равиль Нуруллович**

Санкт-Петербургский горный университет

Адрес: 199106, Россия, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, д. 2

Д.т.н., профессор

E-mail: safravi@mail.ru

**Сафиуллин Руслан Равиллович**

Санкт-Петербургский горный университет

Адрес: 199106, Россия, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, д. 2

К.т.н., доцент

E-mail: safiyllin@yandex.ru

**Ефремова Виктория Александровна**

Санкт-Петербургский горный университет

Адрес: 199106, Россия, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, д. 2

Аспирант

E-mail: vikaefr99@gmail.com

**Баширов Мансур Рустамович**

Межрегиональное территориальное управление Ространснадзора по Северо-Западному федеральному округу

Адрес: 190068, Россия, Санкт-Петербург, пр. Римского-Корсакова, д. 39

Начальник управления

E-mail: mansurbashirov@gmail.com

---

R.N. SAFIULLIN, R.R. SAFIULLIN, V.A. EFREMOVA, M.R. BASHIROV

**METHODOLOGY OF SUBSTANTIATION OF THE COMPOSITION  
OF THE ON-BOARD INFORMATION AND  
CONTROL SYSTEM OF VEHICLES**

*Abstract. The article analyzes the impact of the introduction of on-board information and control systems in the composition of the vehicle on the technical condition of cargo vehicles. The shortcomings of the functioning of the onboard systems used are determined. A methodology for substantiating the composition of the onboard information and control system of cargo transport based on the requirements for the functioning of a particular vehicle is proposed. An algorithm for collecting and processing information received from such systems is presented, with the ability to track the current state of components in real time and develop a model for predicting the technical condition of vehicle systems. A method of integrated assessment of on-board information and control systems has been developed to select the optimal composition of systems depending on the weight of criteria affecting the efficiency of the vehicle.*

*Keywords:* on-board information and control system, a method of integrated assessment of on-

**BIBLIOGRAPHY**

1. Safiullin R.N., Afanasev A.S., Reznichenko V.V. Konseptsiya razvitiya sistem monitoringa i upravleniya intellektual'nykh tekhnicheskikh kompleksov [Elektronnyy resurs] / Zapiski Gornogo instituta. - №237. - 2019. - S. 322. - Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.31897/pmi.2019.3.322>
2. Jiao H. Intelligent research based on deep learning recognition method in vehicle-road cooperative information interaction system / Computational Intelligence and Neuroscience. - 2022. - doi: 10.1155/2022/4921211.
3. Grigorescu S., Trasnea B., Cocias T., Macesanu G. A survey of deep learning techniques for autonomous driving // Journal of Field Robotics. - №37(3). - 2020. - R. 362-386. - doi: 10.1002/rob.21918.
4. Patent na izobretenie №2536337. Bortovaya informatsionnaya sistema bespilotnogo transportnogo sredstva.
5. Tyan' H., Safiullin R.N., Safiullin R.R., Panteleeva N.S. Algoritm otsenki effektivnosti funktsionirovaniya telematicheskoy avtomatizirovannoy sistemy upravleniya kontrolem dvizheniya transportnykh sredstv // Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya. - 2022. - №61. - S. 119-124.
6. Kisulenko B.V. Bezopasnost' avtomatizirovannykh i bespilotnykh avtomobiley i eio otsenka pri dopuske k ekspluatatsii // Avtomobil'naya promyshlennost'. - 2022. - №2. - S. 7-13.
7. Borisov C.B., Koltunova E.A., Kladiev S.N. Sovershenstvovanie struktury imitatsionnoy modeli tyagovogo asinkhronnogo elektroprivoda rulnichnogo elektrovozoa // Zapiski Gornogo instituta. - 2021. - T. 247. - C. 1-8. - DOI: 10.31897/PMI.2021.1.12.
8. Safiullin R.N., Reznichenko V.V., Gorlatov D.V. Modeling and optimization of processes of transportation of heavy cargoes based on the automation of monitoring systems for the motor vehicles movement // IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences. - 2019. - №378(1). - 012069.
9. Safiullin R.N., Reznichenko V.V., Safiullin R.R. The software adaptive system for managing the heavy cargo transportation process based on the automated vehicle weight and size control system // Journal of Physics: Conference Series. - 2021. - 1753(1). - 012063.
10. Safiullin R., Safiullin R., Reznichenko V., Epishkin A., Gorlatov D. Robust-adaptive method of power unit control based on the operational assessment of fuel quality indicators // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2022. - 990(1). - 012060.
11. Safiullin R., Pyrkin O., Marusin A., Boryaev A., Ruchkina Method for the level optimization of vehicle parameters when using fuels of different quality in cold climates // Transportation Research Procedia. - 2021. - 57. - P. 581-590.
12. Method of forming an integrated automated control system for intelligent objects.
13. Safiullin R., Epishkin A., Safiullin R., Haotian T. Conceptual approaches to traffic monitoring design under varying conditions of vehicle traffic // CEUR Workshop Proceedings. - 2021. - 2922. - P. 17-26.
14. Buzmakov S.A., Sannikov P.Yu., Kuchin L.S., Igoshcheva E.A., Abdulmanova I.F. Primenenie bespilotnoy aerofotos"emki dlya diagnostiki tekhnogennoy transformatsii prirodnoy sredy pri ekspluatatsii neftyanogo mestorozhdeniya // Zapiski Gornogo instituta. - 2023. - T. 260. - S. 180-193. - DOI: 10.31897/PMI.2023.22.
15. Kurganov V.M., Gryaznov M.V., Kolobanov S.V. Otsenka nadezhnosti funktsionirovaniya ekskavatorno-avtomobil'nykh kompleksov v kar'ere // Zapiski Gornogo instituta. - 2020. - T. 241. - S. 10-21. - DOI: 10.31897/pmi.2020.1.10.
16. Zhang L., Orosz G. Beyond-line-of-sight identification by using vehicle-to-vehicle communication // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. - 2018. - Vol. 19(6). - R. 1962-1972. - DOI: 10.1109/TITS.2017.2747582.
17. Shpenst V.A. Kompleksirovaniye telekommunikatsionnykh sistem v shakhtakh i podzemnykh sooruzheniyakh // Zapiski Gornogo instituta. - 2019. - T. 235. - S. 78-87. - DOI: 10.31897/pmi.2019.1.78.
18. SHpenst V.A., Terleev A.V. Otsenka pokrytiya shlyuzom Lorawan dlya Tprialozheniy «Umnogo goroda» // Intellektual'nye innovatsii, sistemy i tekhnologii. - 2021. - №220. - S. 513-521. - DOI: 10.1007/978-981-33-6632-9\_45.
19. Grigorescu S., Trasnea B., Cocias T., Macesanu G. Survey of deep learning techniques for autonomous driving // Journal of Field Robotics. - 2022. - Vol. 37(3). - R. 362-386. - DOI: 10.1002/rob.21918.
20. Kozyaruk A.E., Kamysh'yan A.M. Povyshenie energeticheskoy effektivnosti elektromekhanicheskoy transmissii kar'ernogo avtosamosvala // Zapiski Gornogo instituta. - 2019. - T. 239. - C. 576. - DOI: 10.31897/pmi.2019.5.576.
21. Patent RF № 2013149686/08. Bortovaya informatsionnaya sistema bespilotnogo transportnogo sredstva.
22. Brummelen V., O'Brien M., Gruyer D., Najjaran H. Autonomous vehicle perception: The technology of today and tomorrow // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. - 2018. - Vol. 89. - R. 384-406. - DOI: 10.1016/j.trc.2018.02.012.

**Safiullin Ravil Nurullovich**

St. Petersburg Mining University  
Address: 199106, Russia, St. Petersburg  
Doctor of technical sciences  
Email: safravi@mail.ru

**Safiullin Ruslan Ravilovich**

St. Petersburg Mining University  
Address: 199106, Russia, St. Petersburg  
Candidate of technical sciences  
Email: safiyllin@yandex.ru

**Efremova Victoria Alexandrovna**

St. Petersburg Mining University  
Address: 199106, Russia, St. Petersburg  
Graduate student  
E-mail: vikaefr99@gmail.com

**Bashirov Mansur Rustamovich**

Interregional territorial department of Rostransnadzor for the  
Northwestern Federal District  
Address: 190068, Russia, St. Petersburg  
Head of Department  
E-mail: mansurbashirov@gmail.com

Научная статья

УДК 656.13

doi:10.33979/2073-7432-2023-4-2(83)-104-110

А.В. МАНЯШИН

## ОБРАБОТКА ДАННЫХ GNSS-МОНИТОРИНГА В МОБИЛЬНОМ ПРИЛОЖЕНИИ STAMM 4.2

**Аннотация.** GNSS-мониторинг получил широкое распространение на транспорте существенно повышая эффективность его использования. Причем данные, получаемые по каналам связи, как правило, сохраняются онлайн-сервисами и могут быть в дальнейшем использованы для решения самых разных задач. Провайдеры услуг мониторинга предоставляют возможность пользователям свободно выгружать формируемые на базе мониторинга отчеты. Однако использование этих данных сопряжено с рядом ограничений. В первую очередь это связано с погрешностями при определении текущей скорости автомобиля, что связано с особенностями технологии спутниковой навигации. Поэтому данные мониторинга подлежат предварительной обработке с целью исключения или коррекции аномальных наблюдений, вызванных погрешностью измерений. Мобильное приложение Stamm, представленное в статье содержит средства сглаживания некорректных измерений.

**Ключевые слова:** цифровые фильтры, спутниковый мониторинг, GPS-Глонасс-навигация

### **Введение**

Обработка данных GNSS онлайн-мониторинга (Global Navigation Satellite System) или ГНСС (Глобальная навигационная спутниковая система) включает в себя сбор, анализ и интерпретацию информации, полученной от спутниковых систем навигации. Это, главным образом, информация о координатах и скорости объектов, привязанные к отсчетам точного времени. Обратный канал системы предусматривает также передачу произвольных данных. Это могут быть данных различных датчиков, связанных с технологическим процессом объекта наблюдения (мониторинга).

Для обработки данных ГНСС онлайн-мониторинга используются специализированные программы и алгоритмы, которые позволяют высокоточно определять координаты объектов и контролировать их движение. Это важно для многих отраслей, таких как транспорт, геодезия, строительство и других [1, 2, 4, 5]. Обработка данных GNSS онлайн-мониторинга является необходимым инструментом для точного определения местоположения объектов и контроля их движения. Это позволяет повысить эффективность работы, улучшить безопасность и снизить затраты на транспортировку и другие операции [11, 12, 19, 20].

### **Материал и методы**

Для обеспечения высокой точности данных ГНСС онлайн-мониторинга используются методы коррекции, которые позволяют устранить ошибки и искажения, возникающие при передаче и обработке данных. Некоторые из этих методов включают:

1) коррекция сигнала: этот метод используется для устранения ошибок, связанных с искажением сигнала при его передаче через атмосферу Земли. Для этого используются данные о состоянии атмосферы, полученные с помощью дополнительных приборов;

2) дифференциальная коррекция: этот метод используется для устранения ошибок, связанных с различными факторами, такими как многолучевое распространение сигнала и неправильное расположение спутников. Для этого используются данные, полученные с помощью дополнительных приемников в близлежащих точках;

3) коррекция фазы несущей частоты: этот метод используется для устранения ошибок, связанных с изменением фазы несущей частоты при ее передаче через атмосферу Земли. Для этого используются данные о состоянии атмосферы, полученные с помощью дополнительных приборов;

4) коррекция эфемерид: этот метод используется для устранения ошибок, связанных с

неправильным расположением спутников в момент передачи сигнала. Для этого используются данные о точном местоположении спутников, полученные с помощью специализированных станций.

Все эти методы коррекции позволяют повысить точность данных ГНСС онлайн-мониторинга и обеспечить более надежный контроль за движением объектов.

Ошибка определения координат GPS (Глонасс) систем может быть вызвана различными факторами, такими как:

- 1) искажения сигнала при передаче через атмосферу Земли, которые могут привести к неточности в определении расстояния до спутника;
- 2) многолучевое распространение сигнала, когда сигнал отражается от различных поверхностей и достигает приемника с задержкой, что также может привести к неточности в определении расстояния до спутника;
- 3) неправильное расположение спутников, которое может привести к неточности в определении координат объекта;
- 4) ошибки в эфемеридах, которые описывают точное местоположение спутников в момент передачи сигнала;
- 5) неправильная настройка приемника или обработка данных.

Для устранения этих ошибок используются методы коррекции, описанные выше. Также важно выбирать место установки приемника с учетом минимизации возможных помех и искажений сигнала.

Таким образом, точность определения координат и скорости с помощью ГНСС навигации зависит от нескольких факторов, таких как количество и расположение спутников, качество приемника и методы коррекции ошибок. Системы Глонасс и GPS обеспечивают точность определения координат на уровне от нескольких метров до нескольких десятков метров, в зависимости от количества используемых спутников и условий приема сигнала. С точки зрения скорости, системы Глонасс и GPS позволяют определять скорость с точностью до нескольких метров в секунду. Однако для более точного измерения скорости могут использоваться дополнительные сенсоры, такие как датчики скорости, акселерометры и гироскопы. В целом, точность определения координат и скорости вполне достаточна для контроля режима работы транспортных средств. Однако обширная база скоростных профилей автомобилей, формируемая в процессе мониторинга, может быть использована и для научных исследований. Например, для определения типичных скоростных профилей или ездовых циклов автомобилей и специальной техники [8, 9, 10, 13, 14, 15].

### ***Теория / расчет***

При использовании базы данных мониторинга необходимо учитывать алгоритмы сжатия потока данных при сохранении информации о скорости транспортных средств на серверах ГНСС онлайн-мониторинга, они используются для оптимизации использования хранилища данных и уменьшения нагрузки на сеть и позволяют сократить объем передаваемых данных без потери качества информации.

Одним из таких алгоритмов является алгоритм дельта-кодирования, который основан на сохранении разницы между последовательными значениями скорости транспортных средств. Это позволяет сократить объем передаваемых данных, если скорость транспортного средства не меняется значительно. Другим алгоритмом является алгоритм Хаффмана, который используется для сжатия текстовых данных. Он может быть применен и к данным о скорости транспортных средств, если эти данные представлены в виде текстовых строк.

Также могут быть использованы алгоритмы сжатия данных, такие как LZ77 и LZ78, которые основаны на поиске повторяющихся фрагментов в потоке данных и их замене на ссылки на предыдущие вхождения. Это позволяет сократить объем передаваемых данных, если скорость транспортных средств повторяется в определенных интервалах времени.

Однако при наличии ошибки в определении текущих координат с помощью ГНСС по отмеченным выше причинам, использования алгоритмов сжатия потока, может размножить эту ошибку. Но даже скоростные профили, полученные с минимальной на данный момент

периодичностью обновления скорости в одну секунду, требуют предварительной обработки. (рис. 1), причем она может быть как положительной, так и отрицательной [6, 7].

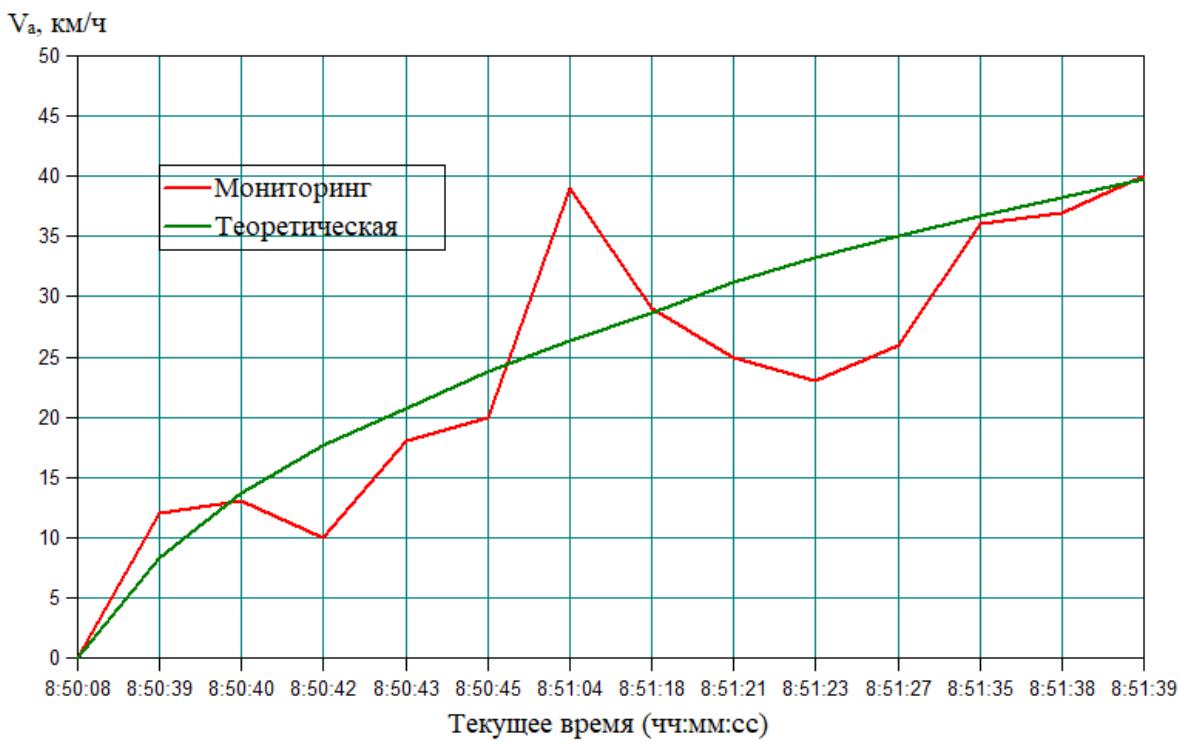


Рисунок 1 - Кривая изменения скорости в процессе разгона автомобиля

На рисунке видны скачки вычисленных значений скорости относительно предполагаемых реальных. Таким образом, для устранения выбросов необходимо сглаживание численных значений.

Для этого можно использовать огрубление данных с помощью средств спектрального анализа данных, например, сравним исходные данные с сервера ГНСС мониторинга (рис. 2) и данные, полученные с помощью Вейвлет-преобразования (рис. 3) доступного в программе Stamm 4.2 [6, 18]. Очевидно, что аппроксимация данных ГНСС-мониторинга с заданной детализацией позволяет сгладить выбросы по всему полю скоростного профиля.

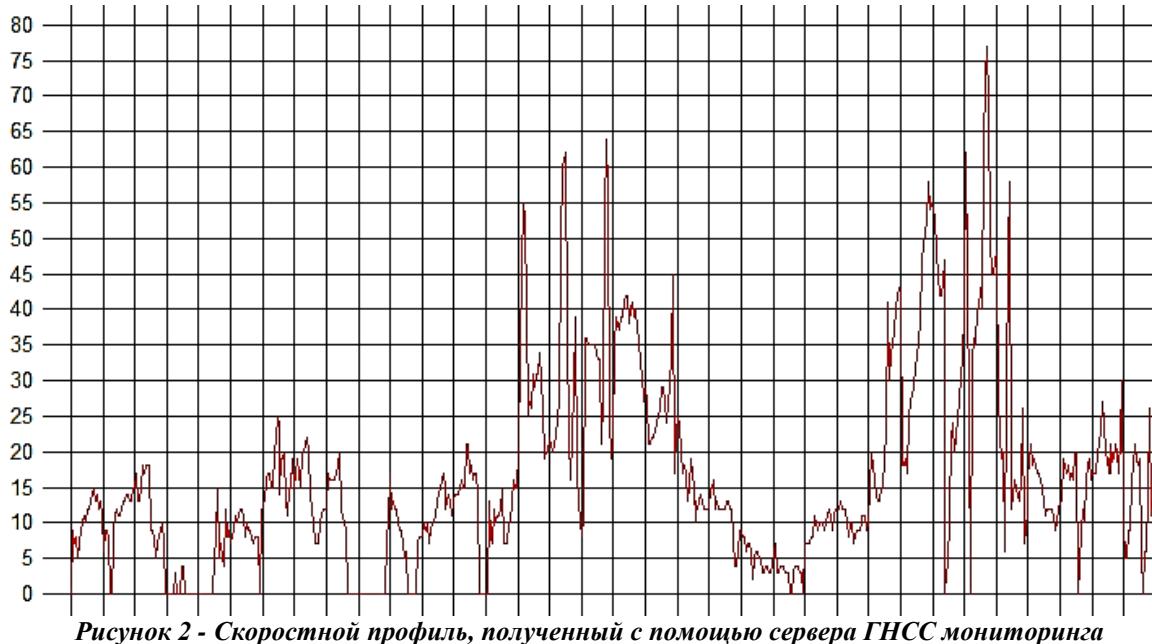


Рисунок 2 - Скоростной профиль, полученный с помощью сервера ГНСС мониторинга

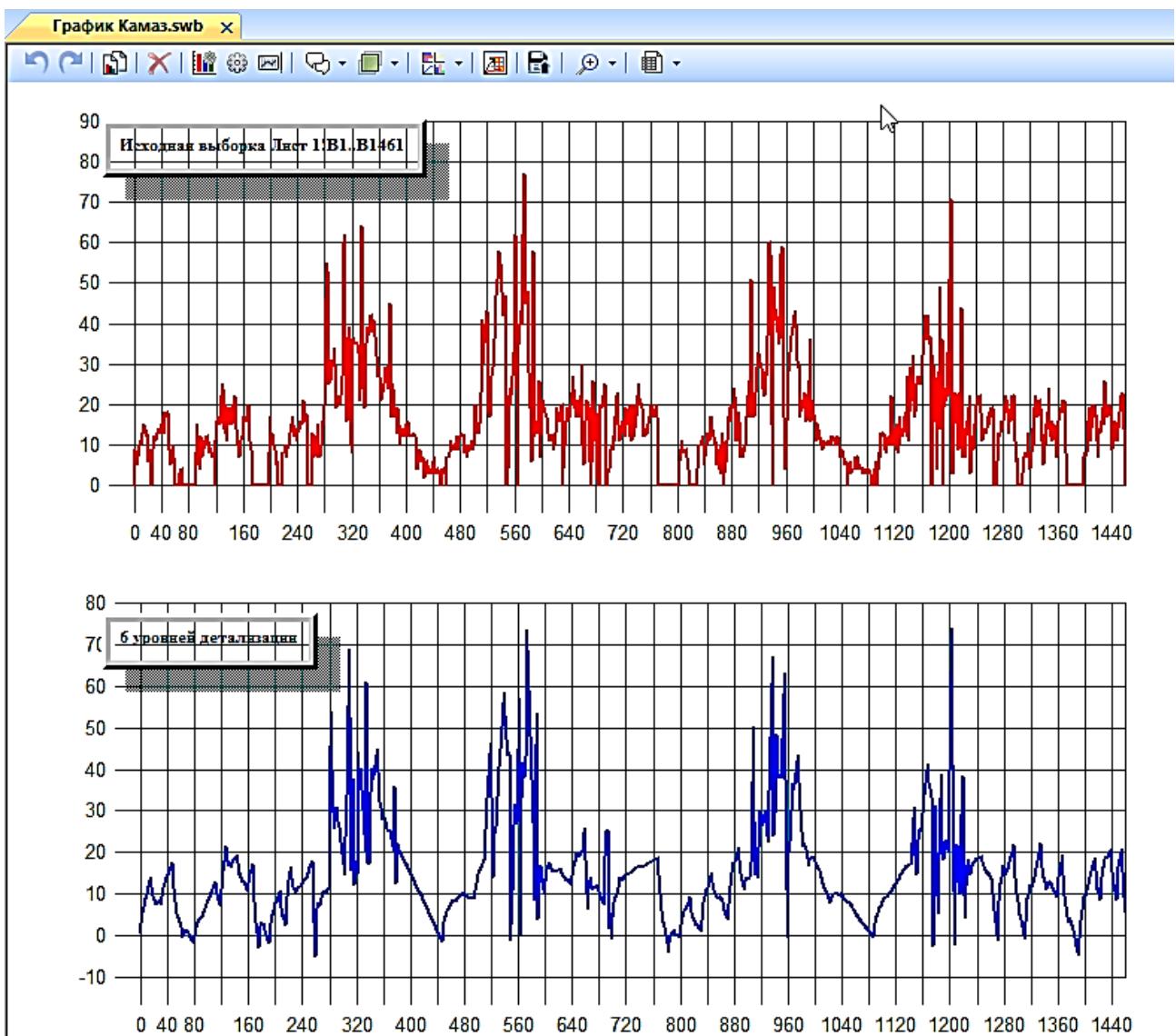


Рисунок 3 - Скоростной профиль, подвергнутый Вейвлет-преобразованию. Stamm 4.2

Однако аппроксимация сразу всей кривой изменения скорости, как правило, полностью не устраняет полностью ошибки, вызванные несовершенством технологии определения координат (рис. 3). На рисунке можно увидеть, что имеет место наличие в сглаженных этим способом данных отрицательных значений. Кроме того, для восстановления данных, обработанных с помощью вейвлет-преобразования требуется дополнительные затраты вычислительной мощности компьютера, связанные с большим числом коэффициентов теоретической зависимости, сопоставимым с размером исходной выборки. Особенности вейвлет-аппроксимации также накладывают строгие ограничения на размер выборки.

В последней версии программы автором добавлена функция цифровых фильтров [16]. Фактически это тоже аппроксимация, но выполняемая на узком участке, определяемом шириной фильтра. Отличие заключается в том, что применение фильтра «заменяет» некорректные данные и можно получить исправленную выборку, например, в соседней колонке рабочего листа книги программы Stamm. Управляя типом цифрового фильтра и его настройками - шириной и коэффициентами можно добиться нужной степени «исправления» данных (рис. 4). Влияние фильтра на исходную выборку можно оценить с помощью графика, полученного в приложении (рис. 5).

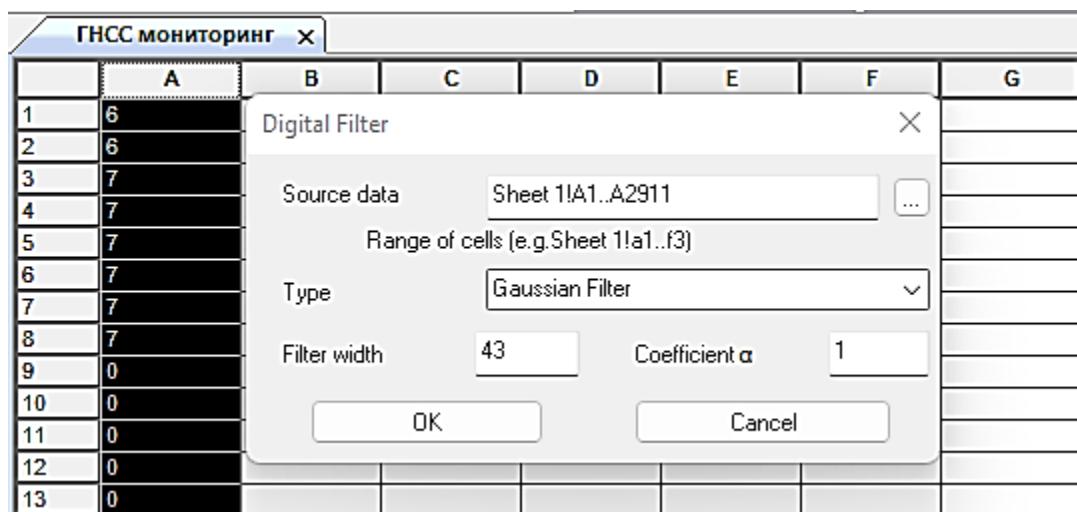


Рисунок 4 - Применение цифрового фильтра к исходной выборке

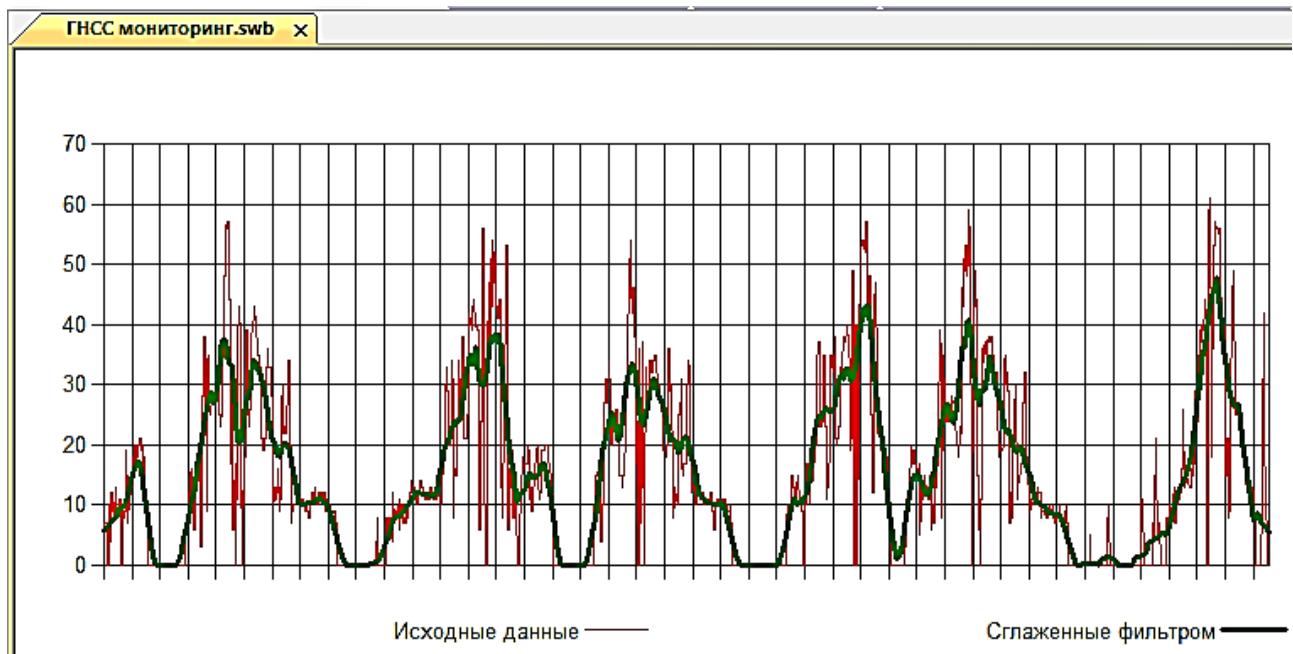


Рисунок 5 - Применение цифрового фильтра с шириной окна 43

#### *Результаты и обсуждение*

Использование цифровых фильтров позволяет очистить исходную выборку, полученную с сервера ГНСС мониторинга от аномальных значений, тип фильтра и его настройки должны определяться на базе учета алгоритмов сжатия данных, используемых на сервере и качества аппаратуры GPS, Глонасс-терминалов. Приведенный пример исправления данных позволил добиться почти полного соответствия фазы «Остановка» реальным условиям движения.

#### *Выводы*

Предложенные методы и подходы обработки экспериментальных данных, полученных путем экспорта отчетов с серверов GNSS мониторинга позволяют повысить качество выборки и убрать аномальные наблюдения искажающие исследуемые закономерности. Кроме того, использование цифровых фильтров не требуют в дальнейшем повторного использования вычислительных мощностей компьютера. Важной особенностью приложения Stamm, наряду с отмеченными функциями предварительной обработки, анализа данных и их визуализации, является его мобильность. Программа не требует установки и использования каких-либо дополнительных библиотек или файлов, поскольку является мобильным приложением способным выполняться с любого доступного носителя [17].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонович К.М., Липатников Л.А. Совершенствование методики точного дифференциального позиционирования по результатам ГНСС измерений (Precise Point Positioning) // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. - 2013. - №4. – С. 44-47.
2. Богданец Е.С., Зырянов А.Р. Анализ точности онлайн-сервисов постобработки GNSS-данных при различных интервалах наблюдений // Master's Journal. – 2017. – №2. – С. 37-43.
3. Богнер Р., Константинидис А. Введение в цифровую фильтрацию. – М.: Мир, 1976. – 216 с.
4. Гиенко Е.Г., Антонович К.М., Липатников Л.А. Применение глобальных спутниковых навигационных систем в геодезии и навигации: практикум. – Новосибирск: СГУГиТ, 2019. – 101 с.
5. Игнатюк В.А., Сметанин С.И., Евстифеев А.А. Разработка динамического алгоритма передачи данных для GNSS-мониторинга морского транспорта // Фундаментальные исследования. – 2016. – №5-2. – С. 242-246.
6. Маняшин А.В. Обработка данных онлайн-мониторинга автомобилей для синтеза типичных ездовых циклов // Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. – №10(124). – DOI 10.23670/IRJ.2022.124.38.
7. Маняшин А.В. Использование нейросети для анализа данных онлайн-мониторинга автомобилей // Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. – №12(126). – DOI 10.23670/IRJ.2022.126.8.
8. Маняшин А.В. Использование данных ГНСС-сервера для синтеза типичных ездовых циклов [Электронный ресурс] / Международный научно-исследовательский журнал. – 2023. - №6(132). – Режим доступа: <https://research-journal.org/archive/6-132-2023-june/10.23670/IRJ.2023.132.71>. – DOI: 10.23670/IRJ.2023.132.71.
9. Bor J.L Fuzzy logic based driving pattern recognition for driving cycle analysis // Journal of Asian Electric Vehicles. - 2004. - Vol. 2. - 1. - P. 551-556.
10. Galgamuwa U., Perera L., Bandara S. Developing a general methodology for driving cycle construction: comparison of various established driving cycles in the world to propose a general approach // Journal of Transportation Technologies. - 2015. - 5. - P. 191-203.
11. I. Ivánová et al. FAIR data and metadata: GNSS precise positioning user perspective // Data Intelligence. – 2023. - №5(1). – P. 43-74.
12. Kolomijeca S., Lopez-Salcedo J.A., Lohan E., Seco-Granados G. GNSS applications: Personal safety concerns // Proceedings from the International Conference on Localization and GNSS (ICL-GNSS). - 2016. - P. 1-5.
13. Lipar P., Strnad I., Česník M., Maher T. Development of Urban Driving Cycle with GPS Data Post Processing // Promet-Traffic&Transportation. – 2016. – Vol. 28. - №4. – P. 353-364. – DOI: 10.7307/ptt.v28i4.1916.
14. Manyashin A.V. Simulation of transport operation in urban conditions with variable virtual time increments in the program Stamm 4.1 // WIT Transactions on the Built Environment. - Vol. 200. - WIT Press: South-ampton and Boston. - 2020. – P. 185-192.
15. Manyashin A.V. The use of GNSS-monitoring data in the synthesis of vehicle driving cycles // German International Journal of Modern Science. – 2021. – №23. – P. 50-52. – DOI 10.24412/2701-8369-2021-23-50-52.
16. Manyashin A.V. Using digital filters of GNSS-monitoring data in the portable application «Stamm» // German International Journal of Modern Science. – 2023. – №57. – P. 54-57.
17. Stamm - User Guide [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://stamm.su/Stamm.html>.
18. Stamm - Stamm - Initial Data Processing and Simulation Program [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://stamm.su>.
19. Tengku R., Kealy A. End User Awareness Towards GNSS Positioning Performance and Testing // Proceedings from the 3rd Research@Locate Conference. - 2016. – P. 7-12.
20. Velaga N.R., Pangbourne K. Achieving genuinely dynamic road user charging: issues with a GNSS-based approach // Journal of Transport Geography. - №34. – 2014. – P. 243-253.

**Маняшин Александр Владимирович**

Тюменский индустриальный университет

Адрес: 625001, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, д. 38

К.т.н., доцент кафедры эксплуатации автомобильного транспорта

E-mail: awm\_zub@mail.ru, manjashinav@tyuiu.ru

---

A.V. MANYASHIN

## PROCESSING OF GNSS MONITORING DATA IN MOBILE APPLICATION STAMM 4.2

*Abstract. GNSS monitoring has become widespread in transport, significantly increasing the efficiency of its use. Moreover, the data received through communication channels, as a rule, is stored by online services and can be further used to solve a variety of tasks. Monitoring service pro-*

viders provide an opportunity for users to freely upload reports generated on the basis of monitoring. However, the use of this data comes with a number of limitations. First of all, this is due to errors in determining the current speed of the car, which is due to the peculiarities of satellite navigation technology. Therefore, monitoring data are subject to preliminary processing in order to exclude or correct anomalous observations caused by measurement error. The Stamm mobile application presented in the article contains tools for smoothing incorrect measurements.

**Keywords:** digital filters, satellite monitoring, GPS-Glonass navigation

## BIBLIOGRAPHY

1. Antonovich K.M., Lipatnikov L.A. Sovershenstvovanie metodiki tochnogo differentials'nogo pozitsionirovaniya po rezul'tatam GNSS izmereniy (Precise Point Positioning) // Izvestiya vuzov. Geodeziya i aeroftos"emka. - 2013. - №4. - S. 44-47.
2. Bogdanets E.S., Zyryanov A.R. Analiz tochnosti onlayn-servisov postobrabotki GNSS-dannykh pri razlichnykh intervalakh nablyudeniy // Master's Journal. - 2017. - №2. - S. 37-43.
3. Bogner R., Konstantinidis A. Vvedenie v tsifrovyyu fil'tratsiyu. - M.: Mir, 1976. - 216 s.
4. Gienko E.G., Antonovich K.M., Lipatnikov L.A. Primenenie global'nykh sputnikovykh navigatsionnykh sistem v geodezii i navigatsii: praktikum. - Novosibirsk: SGUGiT, 2019. - 101 s.
5. Ignatyuk V.A., Smetanin S.I., Evstifeev A.A. Razrabotka dinamicheskogo algoritma peredachi dannykh dlya GNSS-monitoringa morskogo transporta // Fundamental'nye issledovaniya. - 2016. - №5-2. - S. 242-246.
6. Manyashin A.V. Obrabotka dannykh onlayn-monitoringa avtomobiley dlya sinteza tipichnykh ezdovykh tsiklov // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal. - 2022. - №10(124). - DOI 10.23670/IRJ.2022.124.38.
7. Manyashin A.V. Ispol'zovanie neyroseti dlya analiza dannykh onlayn-monitoringa avtomobiley // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal. - 2022. - №12(126). - DOI 10.23670/IRJ.2022.126.8.
8. Manyashin A.V. Ispol'zovanie dannykh GNSS-servera dlya sinteza tipichnykh ezdovykh tsiklov [Elektronnyy resurs] / Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal. - 2023. - №6(132). - Rezhim dostupa: <https://research-journal.org/archive/6-132-2023-june/10.23670/IRJ.2023.132.71>. - DOI: 10.23670/IRJ.2023.132.71.
9. Bor J.L Fuzzy logic based driving pattern recognition for driving cycle analysis // Journal of Asian Electric Vehicles. - 2004. - Vol. 2. - 1. - P. 551-556.
10. Galgamuwa U., Perera L., Bandara S. Developing a general methodology for driving cycle construction: comparison of various established driving cycles in the world to propose a general approach // Journal of Transportation Technologies. - 2015. - 5. - P. 191-203.
11. I. Ivanov et al. FAIR data and metadata: GNSS precise positioning user perspective // Data Intelligence. - 2023. - №5(1). - R. 43-74.
12. Kolomijeca S., Lopez-Salcedo J.A., Lohan E., Seco-Granados G. GNSS applications: Personal safety concerns // Proceedings from the International Conference on Localization and GNSS (ICL-GNSS). - 2016. - R. 1-5.
13. Lipar P., Strnad I., Esnik M., Maher T. Development of Urban Driving Cycle with GPS Data Post Processing // Promet-Traffic&Transportation. - 2016. - Vol. 28. - №4. - P. 353-364. - DOI: 10.7307/ptt.v28i4.1916.
14. Manyashin A.V. Simulation of transport operation in urban conditions with variable virtual time increments in the program Stamm 4.1 // WIT Transactions on the Built Environment. - Vol. 200. - WIT Press: South-ampton and Boston. - 2020. - R. 185-192.
15. Manyashin A.V. The use of GNSS-monitoring data in the synthesis of vehicle driving cycles // German International Journal of Modern Science. - 2021. - №23. - P. 50-52. - DOI 10.24412/2701-8369-2021-23-50-52.
16. Manyashin A.V. Using digital filters of GNSS-monitoring data in the portable application «Stamm» // German International Journal of Modern Science. - 2023. - №57. - P. 54-57.
17. Stamm - User Guide [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <http://stamm.su/Stamm.html>.
18. Stamm - Stamm - Initial Data Processing and Simulation Program [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <http://stamm.su>.
19. Tengku R., Kealy A. End User Awareness Towards GNSS Positioning Performance and Testing // Proceedings from the 3rd Research@Locate Conference. - 2016. - R. 7-12.
20. Velaga N.R., Pangbourne K. Achieving genuinely dynamic road user charging: issues with a GNSS-based approach // Journal of Transport Geography. - №34. - 2014. - R. 243-253.

### Manyashin Alexander Vladimirovich

Tyumen Industrial University

Address: 625001, Russia, Tyumen, Volodarskogo str., 38

Candidate of technical sciences

E-mail: awm\_zub@mail.ru

Научная статья

УДК 629.4.053: 629.424.14(045)

doi:10.33979/2073-7432-2023-4-2(83)-111-116

С.Н. ЖУРАВЛЕВ

## РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ «АВТОМАШИНИСТ» ДЛЯ МАНЕВРОВОГО ЛОКОМОТИВА

**Аннотация.** В рамках проекта «Цифровая железная дорога» АО «ВНИКТИ» разработана система автоматического управления маневровым локомотивом САУ ГЛ для тепловоза ТЭМ7А. Показано состояние вопроса по разработке систем автоматического управления маневровыми локомотивами на сортировочных станциях нового поколения со стационарными системами верхнего уровня, позволяющими управлять локомотивом диспетчеру. Приведена структурная схема тепловоза ТЭМ14М с уровнем автоматизации GoA4 и дано описание ее работы.

**Ключевые слова:** автоматическое управление маневровым локомотивом, тепловоз ТЭМ14М, уровень автоматизации локомотива GoA4

### Введение

Сегодня все крупные холдинги активно работают над созданием систем автоматического управления с искусственным интеллектом. Применение данных систем позволит значительно повысить безопасность движения за счет исключения человеческого фактора, поскольку «машине» не свойственны такие эмоциональные состояния как: усталость, страх, снижение работоспособности, недостаток мотивации и пр.

Поскольку развитию железнодорожного транспорта его техническому перевооружению в России всегда уделялось особое внимание, сегодня холдингом «РЖД» в рамках программы «цифровая железная дорога» активно ведутся работы по автоматизации технологических процессов сортировки вагонов на узловых железнодорожных станциях. При этом одной из ключевых задач является автоматизация управления маневровым локомотивом. Пилотным проектом в данном направлении сегодня является станция Лужская Октябрьской дороги, где в парке приема частично решена задача автоматического управления локомотивом.

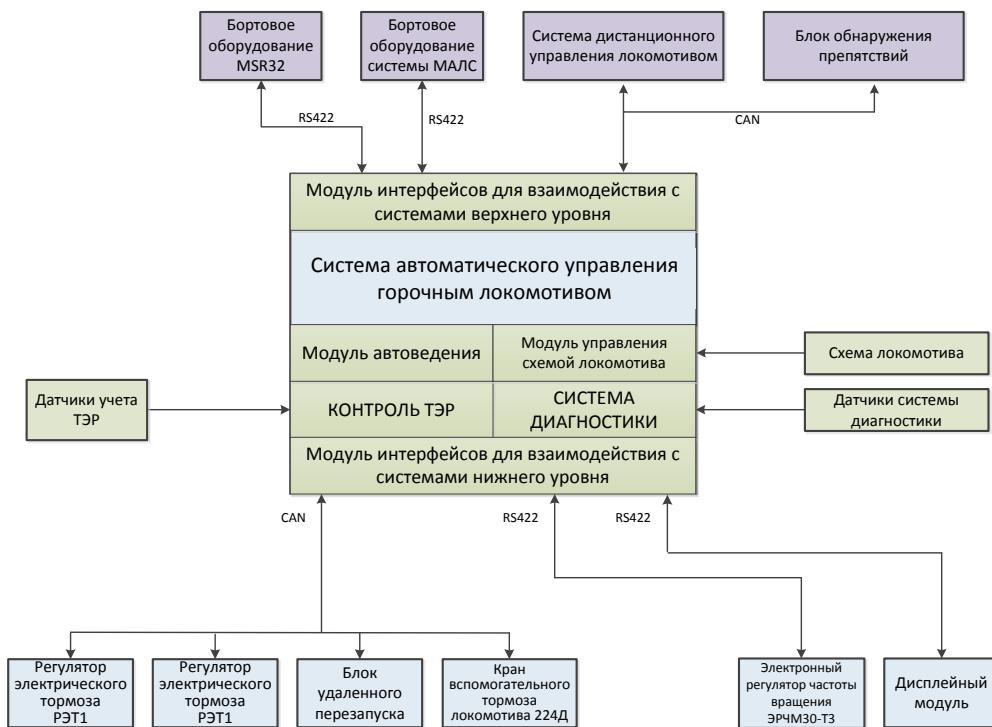
### Материал и методы

Прототипами цифрового маневрового локомотива стали 3 тепловоза ТЭМ7А, которые в настоящее время работают в замкнутом цикле в автоматическом режиме в парке приема станции Лужская, выполняя операции надвига, роспуска состава, следования в тупик, заезда на занятый путь и прицепки к составу для дальнейшего роспуска (рис. 1).



Рисунок 1 – Работа локомотива по замкнутому циклу

Тепловоз ТЭМ7А оснащен следующими ключевыми системами, обеспечивающими его работу в автоматическом режиме: система управления горочным локомотивом САУ ГЛ, бортовая аппаратура МАЛС, бортовая аппаратура MSR-32, система дистанционного управления СДУ МЛ, структурная схема приведена на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Структурная схема интерфейсов тепловоза ТЭМ7А с возможностью работы в автоматическом режиме**

Маневровые операции выполняются под управлением МАЛС, «горочные» операции выполняются под управлением MSR32. Для перехода в автоматический режим машинист выполняет необходимые подготовительные операции: затормаживает тепловоз прямодействующим краном, переводит тумблер в положение «без машиниста». САУ ГЛ проверяет условия для готовности работы тепловоза, после чего транслирует признак готовности в управляющие системы верхнего уровня: МАЛС и MSR-32, и переходит в режим ожидания. Машинист отпускает прямодействующий кран, и уже САУ ГЛ обеспечивает наполнение тормозных цилиндров. В зависимости от того где находится локомотив и какую операцию необходимо выполнить, МАЛС или MSR-32 запрашивает управление на себя и далее формирует команды на управление (задает поддерживаемую скорость, необходимую ступень торможения, направление движения и т.д.). При движении тепловоза в автоматическом режиме САУ ГЛ обеспечивает подачу звуковых и световых сигналов. Дежурный по горке, управляя работой сортировочной системы с поста управления, через системы МАЛС и MSR-32 формирует задание на работу, выполняемую тепловозом в парке приема в автоматическом режиме.

#### **Теория / Расчет**

Работа локомотива в автоматическом режиме под управлением систем верхнего уровня строится за счет выполнения типовых операций: движение по маршруту, заезд на занятый путь, ожидание сцепки, растяжка и надвиг.

На рисунке 3 представлена расшифровка работы локомотива ТЭМ7А в автоматическом режиме. На верхней диаграмме показана управляющая система верхнего уровня, на средней диаграмме текущие операции. На нижней диаграмме показана заданная скорость МАЛС, которую система поддерживает, а также целевая скорость которую локомотиву нужно достигнуть через определенное расстояние. Реализованная в программном обеспечении САУ ГЛ математическая модель движения локомотива по полученным от систем верхнего

уровня параметрам осуществляет ведение локомотива по маршруту.

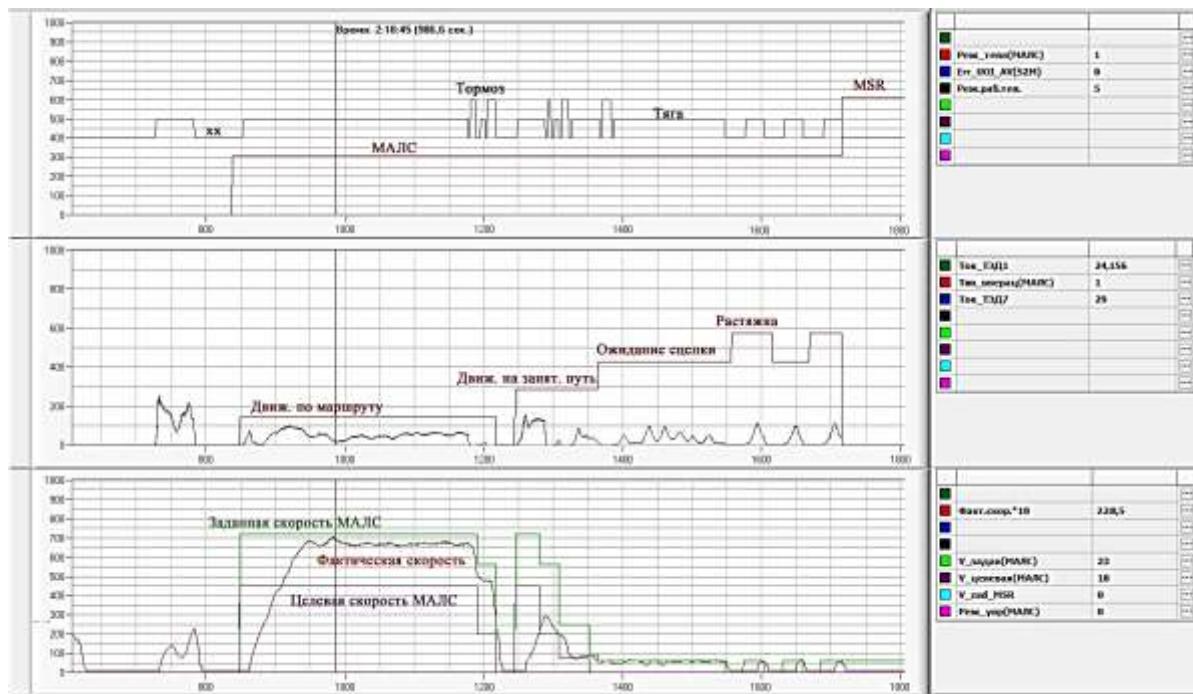


Рисунок 3 – Расшифровка параметров работы локомотива

В настоящее время на станции Лужская локомотивы в тестовом режиме эксплуатируются с уровнем автоматизации GoA3, согласно международному стандарту МЭК 62290. Международная ассоциация общественного транспорта выделяет 5 уровней автоматизации, как этапов достижения полностью автоматического движения (табл. 1).

Таблица 1 – Уровни автоматизации подвижного состава

Уровень автоматизации	Характеристика уровня автоматизации
Уровень автоматизации 0 (GoA0). Управление поездами под ответственностью машиниста	Машинист несет полную ответственность за управление поездом, и дополнительные системы контроля его действий не требуются. Машинист самостоятельно контролирует положение стрелок и интервалы движения. Примером такого уровня ответственности может служить водитель трамвая, который вручную переводит стрелки.
Уровень автоматизации 1 (GoA1). Неавтоматизированное управление поездами	Машинист располагается в передней кабине поезда и отслеживает свободность железнодорожного пути, следит за сигналами и в случае возникновения опасной ситуации останавливает поезд. Машинист самостоятельно управляет тягой и торможением, руководствуясь путевыми и локомотивными сигналами.
Уровень автоматизации 2 (GoA2). Полуавтоматизированное управление поездами	Машинист находится в передней кабине поезда и следит за свободностью железнодорожного пути, а в случае возникновения опасной ситуации останавливает поезд. При этом управление тягой и торможением происходит автоматически, и система контролирует скорость движения поезда в режиме реального времени.
Уровень автоматизации 3 (GoA3). Автоматическое управление поездами без машиниста	При данном уровне автоматизации, машинист может отсутствовать на локомотиве, а на борту в обязательном порядке присутствуют члены оперативного персонала. Контроль за свободности пути осуществляется в автоматическом режиме.
Уровень автоматизации 4 (GoA4). Полностью автоматическое управление поездами	Для управления поездом используется автоматическая система, которая не требует операторов на борту. Она обеспечивает безопасность отправления поезда от платформы станции и закрытия дверей автоматически. Кроме того, система определяет возможные опасные и чрезвычайные ситуации, такие как эвакуация пассажиров, и принимает соответствующие меры. Персонал привлекается только при возникновении опасных ситуаций (пожар, сход).

С 2022 года АО «ВНИКТИ» совместно с АО «ЛТЗ», АО «НИИАС», АО «НПО САУТ» ведутся работы по проектированию и постройке маневрового тепловоза ТЭМ14М с функцией «Автомашинист», способного работать на современной сортировочной цифровой

станции с уровнем автоматизации GOA4, т.е. при полном отсутствии машиниста на борту локомотива. Двухдизельный тепловоз будет оборудован системой управления САУ МЛ, системой безопасности БЛОК-М, блоком обнаружения препятствий БОП-МЛ, системой дистанционного управления. Новая структура взаимодействия систем тепловоза, обеспечивающая его работу в режиме «Автомашинист» представлена на рисунке 4.

Для взаимодействия систем предусмотрено два интерфейса: Ethernet и CAN. Передача большого объема данных (диагностические параметры работы тепловоза и видеопоток с камер наружного наблюдения) в диспетчерский центр (ЦУМЛ) осуществляется по каналу Ethernet через блоки криптографической защиты СКЗИ и модема LTE (дублирование радиоканала). Команды с диспетчерского центра по этому же каналу связи поступают в БОП МЛ. БЛОК-М передает поток данных на БОП МЛ, САУ ГЛ. Также БЛОК-М имеет возможность при необходимости осуществить экстренную остановку локомотива. БОП МЛ формирует команды для САУ МЛ по CAN каналу. На дисплее САУ МЛ выводятся параметры работы локомотива, а также диагностические данные работы систем.

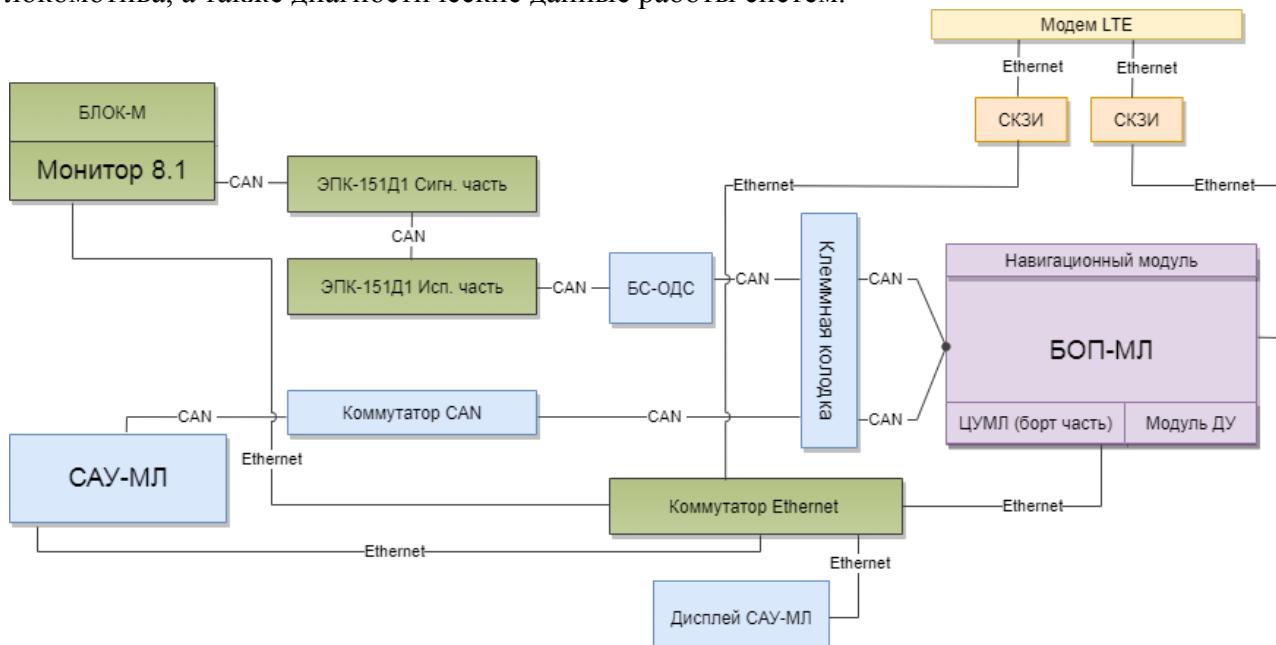


Рисунок 4 – Структура взаимодействия системы «Автомашинист» тепловоза ТЭМ14М

### Результаты и обсуждение

Разработанная технология автоматического управления маневровыми тепловозами на сортировочной станции позволяет осуществлять эксплуатацию локомотивов в режиме «Автомашинист». В 2023-2024 годах технология работы маневровых тепловозов в режиме «Автомашинист» будет расширена на всю сортировочную систему станции Лужская. Тепловоз в автоматическом режиме сможет выполнять маневровую работу в парках формирования, отправления, а также на подъездных технологических путях.

### Выводы

В дальнейшем технология автоматического управления подвижным составом может быть тиражирована на другие крупные сортировочные станции в соответствии утвержденной программой развития ОАО «РЖД».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Требования к радиоуправляемому локомотиву. Станция Лужская-Сортировочная. Lokanforderungen\_Luz\_RU\_Henning, 2012.
2. Пат. 2481202 Российская Федерация. МПК 7 B60L 15/20, B60L 11/02. Устройство для автоматического регулирования скорости тепловоза с электрической передачей.
3. Фурман В.В., Антохин Г.Г., Коссов Е.Е. Опыт применения электронных систем управления топливоподачей [Электронный ресурс] / Бюллетень результатов научных исследований. – 2015. – Вып. 3-4 (16-17). – Режим доступа: <http://brni.info/view/issue-16-17.html#/0>.

4. Nikitin D., Nikitin A., Manakov A., Popov P., Kotenko A. Proc. of 2017 IEEE East-West Design and Test Symp. (EWDTs 2017). – 2017. – P. 2-6.
5. Шелухин В.И. Автоматизация и Механизация Сортировочных Горок. - Москва: Маршрут, 2005. - С. 240.
6. Кузнецов К.В. Тепловоз ТЭМ7А. Устройство и Эксплуатация. - Москва: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2019. - С. 532.
7. Ким С.И., Журавлев С.Н., Пронин А.А. // Вестник ВНИКТИ 100. - 2017. - С. 76.
8. Пат. RU2630859C1 Водонефтенабухающая термопластичная эластомерная композиция.
9. Ким С.И., Пронин А.А., Журавлев С.Н., Харитонов В.И., Грачев В.В., Базилевский Ф.Ю., Курилкин Д.Н. // Вестник ВНИКТИ 100. - 2017. – С. 80.
10. Пат. RU2616111. Способ регулирования скорости движения тепловоза с электрической передачей.
11. Пат. RU2652481C1. Способ регулирования скорости движения тепловоза в режиме электрического торможения.
12. Пат. RU2588400. Устройство для автоматического регулирования скорости тепловоза с электрической передачей.
13. Пат. RU2481202 Устройство для автоматического регулирования скорости тепловоза с электрической передачей.
14. Pudovikov O.E., Murov S.A. Russian Electrical Engineering 8, 2014. - 505 p.
15. Грищенко А.В., Кручек В.А., Кручек В.В. Оценка экономической эффективности тепловозной многоцилиндровой энергетической установки с объединенной системой охлаждения // Известия ПГУПС. - 2012. - №1. – С. 46-51.
16. Коваленко Н.А., Бородин А.А. Применение новых критериев расчета при необходимости формирования барьерных групп // Железнодорожный транспорт. – 2019. - №9. – С. 15-17.
17. Бобровский В.И. Дифференциальные уравнения движения отцепа и методы их решения // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 1996. - №6. – С. 34-39.
18. МЭК 62290-1: 2014. Системы управления и контроля для железнодорожных пассажирских перевозок в городском и пригородном сообщении. - Часть 1. Принципы и фундаментальные концепции построения системы.
19. Пудовиков О.Е., Киселев М.Д., Корзина И.В. Влияние архитектуры распределённой микропроцессорной системы управления локомотивом на выбор структуры системы автоматического управления скоростью // Электропривод на транспорте и в промышленности: Сборник трудов II Всероссийской научно-практической конференции. - Хабаровск. – 2018. - С. 55-58.
20. Пудовиков О.Е., Баранов Л.А., Савоськин А.Н. Критерии качества регулирования скорости // Мир транспорта. – 2009. - № 4. - С. 50-56.
21. Микропроцессорные системы автоворедения электроподвижного состава / Л.А. Баранов, Я.М. Головичер, Е.В. Ерофеев, В.М. Максимов; Под ред. Л.А. Баранова. – М.: Транспорт, 1990. – 272 с.

**Журавлев Сергей Николаевич**

АО «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКТИ»)

Адрес: 140402, Россия, Коломна, ул. Октябрьской революции, д. 410

Заместитель главного инженера

E-mail: Zhuravlev-SN@vnikti.com

---

S.N. ZHURAVLEV

## **DEVELOPMENT OF «AUTOMACHINIST» TECHNOLOGY FOR SHUNTING LOCOMOTIVES**

**Abstract:** As part of the Digital Railway Project, JSC “VNIKTI” has developed automatic control system for shunting locomotive (ACS SL) for TEM7A diesel locomotive. The state of the issue is shown for the development of automatic control systems for shunting locomotives at new generation marshalling depots with stationary high level systems that allow the dispatcher to control the locomotive. The structural diagram of TEM14M diesel locomotive with GoA4 automation level is given and its operation is described.

**Keywords:** shunting locomotive automatic control, TEM14 diesel locomotive, GoA4 level of locomotive automation

## **BIBLIOGRAPHY**

1. Trebovaniya k radioupravlyayemomu lokomotivu. Stantsiya Luzhskaya-Sortirovochnaya. Lokanforderungen\_Luz\_RU\_Henning, 2012.

2. Pat. 2481202 Rossiyskaya Federatsiya. MPK 7 B60L 15/20, B60L 11/02. Ustroystvo dlya avtomaticheskogo regulirovaniya skorosti teplovoza s elektricheskoy peredachey.
3. Furman V.V., Antyukhin G.G., Kossov E.E. Opyt primeneniya elektronnykh sistem upravleniya toplivopodachey [Elektronnyy resurs] / Byulleten` rezul`tativ nauchnykh issledovaniy. - 2015. - Vyp. 3-4 (16-17). - Rezhim dostupa: <http://brni.info/view/issue-16-17.html#/0>.
4. Nikitin D., Nikitin A., Manakov A., Popov P., Kotenko A. Proc. of 2017 IEEE East-West Design and Test Symp. (EWDTs 2017). - 2017. - P. 2-6.
5. Shelukhin V.I. Avtomatizatsiya i Mekhanizatsiya Sortirovochnykh Gorok. - Moskva: Marshrut, 2005. - S. 240.
6. Kuznetsov K.V. Teplovoz TEM7A. Ustroystvo i Ekspluatatsiya. - Moskva: Uchebno-metodicheskiy tsentr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte, 2019. - S. 532.
7. Kim S.I., Zhuravlev S.N., Pronin A.A. // Vestnik VNIKTI 100. - 2017. - C. 76.
8. Pat. RU2630859C1 Vodoneftabenkhayushchaya termoplastichnaya elastomernaya kompozitsiya.
9. Kim S.I., Pronin A.A., Zhuravlev S.N., Haritonov V.I., Grachev V.V., Bazilevskiy F.Yu., Kurilkin D.N. // Vestnik VNIKTI 100. - 2017. - C. 80.
10. Pat. RU2616111. Sposob regulirovaniya skorosti dvizheniya teplovoza s elektricheskoy peredachey.
11. Pat. RU2652481C1. Sposob regulirovaniya skorosti dvizheniya teplovoza v rezhime elektricheskogo tormozheniya.
12. Pat. RU2588400. Ustroystvo dlya avtomaticheskogo regulirovaniya skorosti teplovoza s elektricheskoy peredachey.
13. Pat. RU2481202 Ustroystvo dlya avtomaticheskogo regulirovaniya skorosti teplovoza s elektricheskoy peredachey.
14. Pudovikov O.E., Murov S.A. Russian Electrical Engineering 8, 2014. - 505 p.
15. Grishchenko A.V., Kruchek V.A., Kruchek V.V. Otsenka ekonomicheskoy effektivnosti teplovoznoy mnogodizel'noy energeticheskoy ustanovki s ob"edinennoy sistemoy okhlazhdeniya // Izvestiya PGUPS. - 2012. - №1. - S. 46-51.
16. Kovalenko N.A., Borodin A.A. Primenenie novykh kriteriev rascheta pri neobkhodimosti formirovaniya bar`ernykh grupp // Zheleznodorozhnyy transport. - 2019. - №9. - S. 15-17.
17. Bobrovskiy V.I. Differentsial`nye uravneniya dvizheniya ottsepa i metody ikh resheniya // Informatsionno-upravlyayushchie sistemy na zheleznodorozhnom transporte. - 1996. - №6. - S. 34-39.
18. MEK 62290-1: 2014. Sistemy upravleniya i kontrolya dlya zheleznodorozhnykh passazhirskikh perevozok v gorodskom i prigorodnom soobshchenii. - Chast` 1. Printsipy i fundamental`nye kontseptsii postroeniya sistemy.
19. Pudovikov O.E., Kiselev M.D., Korzina I.V. Vliyanie arkhitektury raspredelionnoy mikroprotsessornoy sistemy upravleniya lokomotivom na vybor struktury sistemy avtomaticheskogo upravleniya skorostyu // Elektroprivod na transporte i v promyshlennosti: Sbornik trudov II Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Habarovsk. - 2018. - S. 55-58.
20. Pudovikov O.E., Baranov L.A., Savos`kin A.N. Kriterii kachestva regulirovaniya skorost` // Mir transporta. - 2009. - № 4. - S. 50-56.
21. Mikroprotsessornye sistemy avtovedeniya elektropodvizhnogo sostava / L.A. Baranov, Ya.M. Golovicher, E.V. Erofeev, V.M. Maksimov; Pod red. L.A. Baranova. - M.: Transport, 1990. - 272 s.

**Zhuravlev Sergey Nikolaevich**

JSC «Research and Design-Technological Institute of Rolling Stock» (JSC «VNIKTI»)

Address: 140402, Russia, Kolomna, October Revolution str., 410

Deputy Chief Engineer

E-mail: Zhuravlev-SN@vniki.com

Научная статья

УДК 653.113

doi:10.33979/2073-7432-2023-4-2(83)-117-122

С.А. ЛЯПИН, Ю.Н. РИЗАЕВА, Д.А. КАДАСЕВ

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПОДХОДА ДЛЯ СТРУКТУРИРОВАНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА БАЗЕ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**Аннотация.** Рассмотрено использование мультиагентного подхода для управления процессом доставки готовой продукции крупного металлургического комбината заказчику. Организацию оказания услуги осуществляет логистический центр комбината, который для этой цели формирует виртуальное предприятие из агентов, в число которых входят внешняя и окружающая среды. Предлагаются критерии, на основе которых осуществляется управление структурированным виртуальным предприятием, представляющим собой открытую социоприродоэкономическую систему.

**Ключевые слова:** транспортно-логистическая система, виртуальное предприятие, агент, логистический центр, мультиагентный подход

### Введение

Успешное решение задачи повышения эффективности крупного металлургического комбината в современных условиях во многом зависит от планирования и организации логистических процессов. Цифровизация промышленности и экономики позволила создавать системы сквозного управления материальными потоками и интеллектуализировать их [1].

Аналитики констатируют, что «если представить те миллионы объектов, отправляемых, взаимодействующих с различными механизмами, транспортными средствами и людьми, то неудивительно, что Интернет вещей и логистика идеально подходят друг другу» [11]. Собственно говоря, транспортно-логистические системы, благодаря новым информационно-коммутационным технологиям выступают как специализированные интеллектуальные системы, имеющие тенденцию к объединению вокруг логистических центров. Одной из основных целей при этом, может быть четкое согласование планов работы производственных цехов предприятия и логистических цепочек связывающих производство между собой а также с поставщиками материальных ресурсов и потребителями готовой продукции [2, 3]. Сложившаяся на планете Земля современная ситуация характеризуется органическим сочетанием трех основополагающих компонентов: население, природа и экономика. Она привела к необходимости введения в научный оборот нового понятия, сложившегося во второй половине XX в. - социоприродоэкономическая система (СПЭС) [4].

Согласование работы производственных и логистических элементов оказывается недостаточным для сбалансированного функционирования всей СПЭС региона.

### Материал и методы

Принятие эффективных управленческих решений в сложноструктурированных СПЭС, процессы в которых могут носить как дискретный так и непрерывный характер, невозможно без использования специальных алгоритмов и моделей, подключения искусственного интеллекта для поддержки принятия решений [5, 6].

Таким образом, в качестве объекта исследования предлагается рассматривать открытую СПЭС включающую в себя производство, поставщиков материальных ресурсов, потребителей готовой продукции комбината, элементы транспортно-логистической системы (ТЛС) внешнюю и окружающую среды (ВиОС), общество. Управление процессом доставки материальных ресурсов осуществляет «Производственное управляющее звено», представляющее интересы производства и контролируемое «Региональным управляющим звеном», которое представляет интересы региона(общества и ВиОС) [7, 8].

### Теория / Расчет

В качестве инструмента согласования работы отдельных элементов управляемой системы, выступающих в виде агентов мультиагентной системы, предлагается использовать технологическую координацию, заключающуюся в мониторинге всех фаз движения материальных ресурсов, согласовании или синхронизации работ технологических производств и

транспорта при организации движения материальных потоков за счет минимизации отклонений фактического хода производства от запланированного [13, 14].

Проводить технологическую координацию рекомендуется в режиме диспетчеризации на относительно коротких интервалах работы основного производства металлургического комбината, например, на временных интервалах кратных сменно- суточному графику.

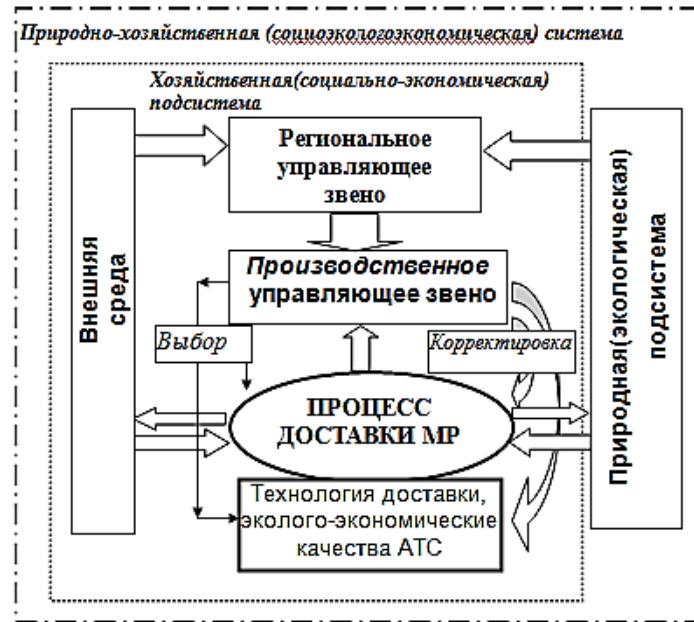


Рисунок 1 - Методология управления процессом доставки МР  
в иерархически управляемой логистической системе

При этом, из-за глобализации рынков повышается важность формирования устойчивых отношений между потребителями и производителями материальных ресурсов. Переориентация производств на индивидуальных заказчиков позволяет сформировать из независимых многопрофильных партнеров виртуальные предприятия (ВП), взаимодействующие в системе объединенной компьютерными сетями на базе единой информационной платформы на период выполнения заказа. Для таких предприятий характерным является постоянная динамика их структуры, так называемая саморазвиваемость, по мере перехода к другим заказам. Задачу усложняет многономенклатурность металлургического производства, многовариантность организации процессов внутри цехов, возможность параллельного выполнения технологических операций, а также использование в рамках одного производства непрерывных и дискретных технологических процессов. Заметим также, что социально-экономические и природные факторы играют при формировании и управлении ВП значительную роль. То есть, общество и природа также выступают в качестве агентов и входят в состав виртуальных предприятий. При разработке структуры сети определяют сферы координации для которой моделируются процессы коммуникации, полномочий, целевые установки и системоориентированные потоки, включающих в себя технологический, информационный, материальный потоки, а также потоки рабочей силы, энергии и капитала [15, 16].

Управляющим звеном, формирующим виртуальные предприятия и налаживающим связи между производителями (поставщиками) МР, поставщиками логистических услуг и потребителями является логистический центр, действующий с ними в едином информационном пространстве и обладающий актуальной информацией по предложению и спросу на рынке услуг [17, 18].

Обозначим услугу ЛЦ  $u_i$ ,  $i = 1, \dots, N_u$ , состоящую из набора сервисов  $\{s_j\}$ ,  $j = 1, \dots, N_s$

Услуга, включающая набор сервисов может быть записана в виде

$$u_i = \{f_{ij}(s_j)\},$$

где  $f_{ij}(s_j)$  - функция, определяющая услугу  $u_i$  как набор сервисов  $s_j$  (погрузка-разгрузка, доставка, маркировка, складирование и т.п.).

Потребность в каждом сервисе, входящем в услугу можно определить используя бу-

леву переменную

$$r_{ijl} = r_{ijl}(u_i, s_j, t_l) \in \{0,1\},$$

где  $t_l, l = 1, \dots, N_r$  - время подачи заявки на оказание сервиса  $s_j$ .

Тогда заявку на комплексную услугу, можно трактовать как заявку на набор сервисов

$$E_{i_{l_{\min}}} = \{r_{ijl}(u_i, s_j, t_l)\} \in \{0,1\},$$

где  $l_{\min} : l_{\min} = \min(t_l)$  - номер первого по порядку предоставления сервиса в составе комплексной услуги  $u_i$ , а  $t_{l_{\min}}$  - время формирования заявки на предоставление услуги  $u_i$ .

Сервис для обеспечения возможности выполнения должен быть обеспечен соответствующим ресурсом  $g_k, k = 1, \dots, N_g$ .

Таким образом, событие, заключающееся в предоставлении набора сервисов с использованием ресурса  $g_k$  можно записать в виде

$$v_{ijlk} = v_{ijlk}(r_{ijl}, g_k, c_{ijlk}, \Delta t_{ijlk}) \in \{0,1\},$$

где  $c_{ijlk}$  - стоимость привлекаемых ресурсов  $g_k$  для выполнения сервисных услуг  $s_j$  в рамках необходимой потребности  $r_{ijl}$ ;

$\Delta t_{ijlk}$  - продолжительность оказания сервисных услуг.

Возможные варианты процесса оказания услуги  $u_i$  могут быть представлены графом, вершины которого отражают состояния  $v_{ijlk}$ , а ребра характеризуют переходы между этими состояниями.

Для различных сервисов  $s_{ij_1}$  и  $s_{ij_2}$  услуги  $u_i$  переходы между состояниями  $v_{ij_1 lk}$  и  $v_{ij_2 lk}$ ,  $j_1 \neq j_2$  могут быть записаны в виде отношений:

- предшествования  $\varphi(v_{ij_1 lk}, v_{ij_2 lk})$ , описывающий факт необходимости завершения сервиса  $s_{ij_1}$  для начала выполнения сервиса  $s_{ij_2}$ ;
- параллельного выполнения  $\psi(v_{ij_1 lk}, v_{ij_2 lk})$ , описывающий факт параллельного выполнения работ сервисов  $s_{ij_1}$  и  $s_{ij_2}$  в рамках одной услуги.

Вариант маршрута конкретной услуги на графике можно записать в виде

$$V_{in} = (\{v_{ijlk}\}, t'_{in}) \in \{0,1\},$$

где  $t'_{in}, n = 1, \dots, N_v$  - время создания варианта маршрута.

Поскольку маршрут услуги определяется как один из возможных вариантов, то

$$M_{im} = (V_{in}, t''_{im}) \in \{0,1\},$$

где  $t''_{im}, m = 1, \dots, N_m$  - время выбора маршрута услуги из возможных вариантов.

Структурирование виртуального предприятия для предоставления услуги  $u_i$ , состоящей из сервисов  $s_j$  логистический центр осуществляет используя критерии:

1. Снижение стоимости запрошенной услуги

$$C(u_i) = \sum_{j=1}^{N_s} \sum_{l=1}^{N_r} \sum_{k=1}^{N_g} v_{ijlk} c_{ijlk} \rightarrow \min;$$

2. Снижение времени выполнения услуги:

$$T(u_i) = \sum_{j=1}^{N_s} \sum_{l=1}^{N_r} \sum_{k=1}^{N_g} v_{ijlk} \Delta t_{ijlk} \rightarrow \min;$$

3. Лимитирования ресурсов [2]

$$G_t x_t \leq g_t;$$

4. Лимитирования эколого-экономического ущерба [2]

$$B_t x_t \leq b_t;$$

где  $G_t$  - матрица норм расхода ресурсов на выполнение услуги  $u_i$  в периоде  $\Delta t_{ijkl}$ ;

$B_t$  - матрица эколого-экономических ущербов для множества вариантов оказания услуги  $u_i$  в периоде  $\Delta t_{ijkl}$ ;

$g_t$  - вектор-столбец лимитов по ресурсам в периоде  $\Delta t_{ijkl}$ , установленных планом;

$b_t$  - вектор-столбец лимитов по эколого-экономическому ущербу в периоде  $\Delta t_{ijkl}$ , установленных РУЗ.

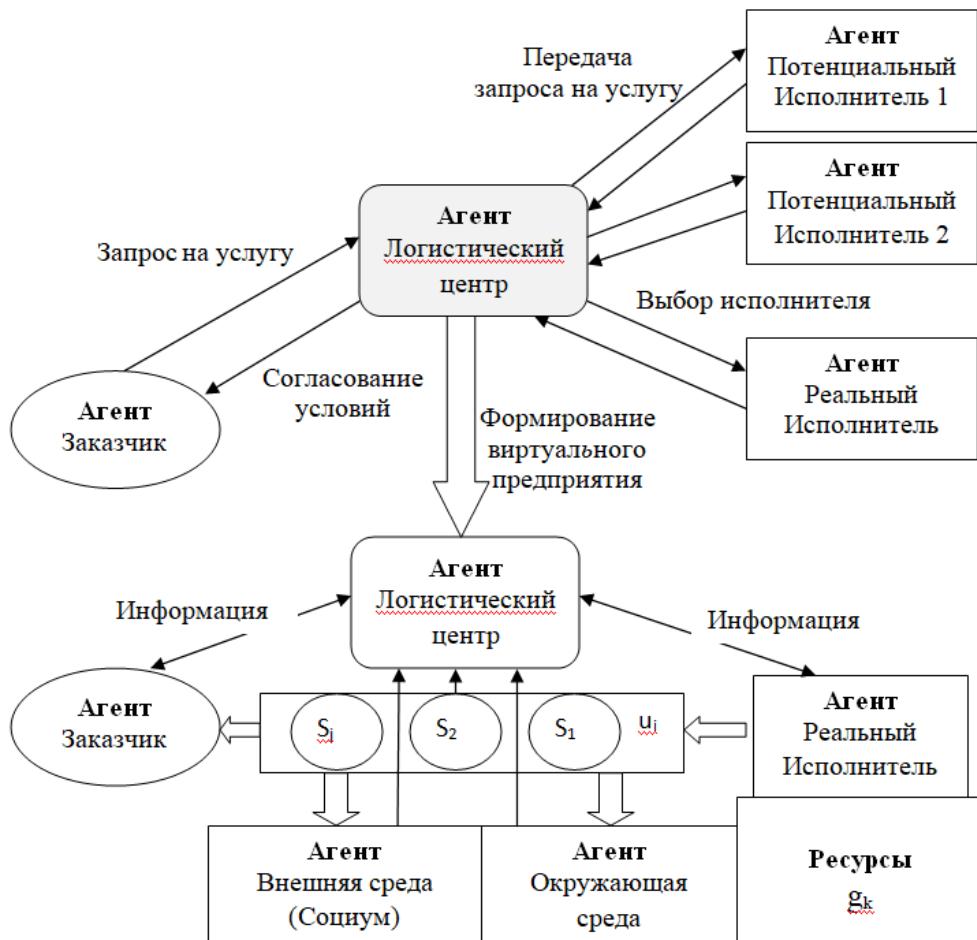


Рисунок 2 - Процесс выполнения логистической услуги виртуальным предприятием

### Результаты и обсуждение

На основе анализа взаимодействия крупного металлургического комбината и потребителей его готовой продукции, предложена модель виртуального логистического центра способного сформировать из территориально разрозненных агентов эффективное виртуальное предприятие, которое можно рассматривать как управляемую СПЭС и применять к ней инструменты, позволяющие найти согласованные решения, способные удовлетворить интересы всех агентов, в число которых входят поставщики логистических услуг, внешняя и окружающая среды.

### Выводы

Предлагаемые методы позволяют повысить эффективность доставки готовой продукции металлургического комбината потребителям за счет представления комплексной услуги реального исполнителя в виде набора сервисов, подкрепленных наличием ресурсов для ее выполнения. При этом лимитирование эколого-экономического ущерба обеспечит сбалансированность природопользования и улучшить ассимиляционные способности природы к самовосстановлению.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов К.А., Ван Кай Разработка и применение метода реинжиниринга бизнес-процессов на основе мультиагентного моделирования: Монография. – Ульяновск: Зебра, 2016. – 192 с.

2. Корчагин В.А., Ляпин С.А. Управление процессами перевозок в открытых социоприродоэкономических автотранспортных системах: Монография. – Липецк: ЛГТУ, 2007.-261 с.
3. Корчагин В.А., Ляпин С.А., Сысоев Д.К. Моделирование эколого-экономического взаимодействия транспорта и окружающей среды// Наука и техника транспорта.-2007.- №1.- С. 47-51.
4. Корчагин В.А., Ляпин С.А., Корчагин Д.И. Методические подходы эффективного и экологически безопасного автотранспортного обслуживания металлургического комбината // Грузовое и пассажирское автотранспортное хозяйство. - 2007. - №2. - С. 44-46.
5. Корчагин В.А., Ляпин С.А. Методические основы управления потоковыми процессами на автомобильном транспорте: Учебное пособие для вузов. - Липецк: ЛГТУ, 2007. -246 с
6. Корчагин В.А., Ляпин С.А., Дlugашевский А.В. Ноосферологические подходы обеспечения эффективного и экологически безопасного транспортного обслуживания металлургических комбинатов// Известия СамНЦ РАН. - Самара: СамНЦ РАН, 2007. - Том 2. Серии «Машиностроение» и «Экология». - С. 184-187.
7. Корчагин В.А., Ляпин С.А. Методологические основы взаимодействия автотранспортных систем с окружающей средой // Автотранспортное предприятие. - 2008. - №6. - С. 35-37.
8. Корчагин В.А., Ляпин С.А. Научно-практические подходы транспортного обслуживания металлургического комбината // Наука и техника транспорта. - 2008. - №2. - С. 8-12.
9. ГОСТ Р 56829-2015. Национальный стандарт РФ [Электронный ресурс] / 2016. – Режим доступа: <http://vsegost.com/Catalog/61/61264.shtml>.
10. Департамент транспорта США. ИТС [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.its.dot.gov/>.
11. Интернет вещей в логистике: совместный отчет DHL и Cisco 2015. [Электронный ресурс] / Пер. Вячеслав Гладков. - Опубликовано 13 мая 2016. - Режим доступа: [http://json.tv/tech\\_trend\\_find/internet-veschey-v-logistike-sovmestnyy-otchet-dhl-i-cisco-20160511113055](http://json.tv/tech_trend_find/internet-veschey-v-logistike-sovmestnyy-otchet-dhl-i-cisco-20160511113055)
12. Загорулько Ю.А., Загорулько Г.Б. Искусственный интеллект. Инженерия знаний: Учебное пособие. – М.: Юрайт, 2018. – 94 с.
13. Бухвалов О.Л., Городецкий В.И., Карсаев О.В. и др. Производственная логистика: Стратегическое планирование, прогнозирование и управление конфликтами // Известия ЮФУ. – 2012. – №3. – С. 209-218.
14. Бухвалов О.Л., Городецкий В.И., Карсаев О.В. и др. Распределенная координация в В2В-производственных сетях // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2013. – №3. – С. 193-203.
15. Городецкий В.И., Самойлов В.В., Троцкий Д.В. Базовая онтология коллективного поведения автономных агентов и ее расширения // Известия РАН: Теория и системы управления. – 2015. – №5. – С. 102-121.
16. Городецкий В.И. Самоорганизация и многоагентные системы. II. Приложения и технология разработки // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2012. – №3. – С. 102-123.
17. Скобелев П.О. Интеллектуальные системы управления ресурсами в реальном времени: принципы разработки, опыт промышленных внедрений и перспективы развития // Приложение к теоретическому и прикладному научно-техническому журналу «Информационные технологии». –2013. – №1. – С. 1-32.
18. Скобелев П.О. Мультиагентные технологии в промышленных применениях: к 20-летию основания Самарской научной школы мультиагентных систем // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2010. – №12. – С. 33-46.
19. Deloach S.A Moving multi-agent systems from research to practice // Int. J. Agent-Oriented Software Engineering. – 2009. – Vol. 3. - №4. – P. 378-382.
20. Müller J., Fisher K. Application Impact of Multiagent Systems and Technologies: A Survey // Agent-Oriented Software Engineering: book series. – Springer. - 2013. – P. 1-26.
21. Иващенко А.В., Сюсин И.А., Федосов А.В. Мультиагентная среда для моделирования и управления деятельностью виртуального посреднического оператора в сфере услуг // Информационные технологии в управлении (ИТУ-2014): материалы конф. - СПб.: ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2014. - С. 686-691.

**Ляпин Сергей Александрович**

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

**Ризаева Юлия Николаевна**

МИРЭА – Российский технологический университет  
Адрес: Россия, г. Москва, Проспект Вернадского, д. 78  
Д.т.н., профессор кафедры метрологии и стандартизации, член Общественного совета при Министерстве транспорта РФ  
E-mail: rizaeva.u.n@yandex.ru

**Кадасев Дмитрий Анатольевич**

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

S.A. LYAPIN, Y.N. RIZAEVA, D.A. KADASEV

**USING A MULTI-AGENT APPROACH FOR STRUCTURING VIRTUAL ENTERPRISES BASED ON TRANSPORT AND LOGISTICS SYSTEMS**

**Abstract.** The use of a multi-agent approach to control the process of delivery of finished products of a large metallurgical plant to the customer is considered. The organization of the provision of services is carried out by the logistics center of the combine, which for this purpose forms a virtual enterprise of agents, which include external and environmental. The criteria on the basis of which the management of a structured virtual enterprise is carried out, which is an open socio-socio-economic system, are proposed.

**Keywords:** transport and logistics system, virtual enterprise, agent, logistics center, multi-agent approach

## BIBLIOGRAPHY

1. Aksenov K.A., Van Kay Razrabotka i primenenie metoda reizzhiniringa biznes-protsessov na osnove mul`tiagentnogo modelirovaniya: Monografiya. - Ul`yanovsk: Zebra, 2016. - 192 s.
2. Korchagin V.A., Lyapin S.A. Upravlenie protsessami perevozok v otkrytykh sotsioprirodoekonomiceskikh avtotransportnykh sistemakh: Monografiya. - Lipetsk: LGTU, 2007.-261 s.
3. Korchagin V.A., Lyapin S.A., Syssoev D.K. Modelirovaniye ekologo-ekonomicheskogo vzaimodeystviya transporta i okruzhayushchey sredy// Nauka i tekhnika transporta.-2007.- №1. - S. 47-51.
4. Korchagin V.A., Lyapin S.A., Korchagin D.I. Metodicheskie podkhody effektivnogo i ekologicheskogo bezopasnogo avtotransportnogo obsluzhivaniya metallurgicheskogo kombinata // Gruzovoe i passazhirskoe avtokhozyaystvo. - 2007. - №2. - S. 44-46.
5. Korchagin V.A., Lyapin S.A. Metodicheskie osnovy upravleniya potokovymi protsessami na avtomobil`nom transporte: Uchebnoe posobie dlya vuzov. - Lipetsk: LGTU, 2007. -246 s
6. Korchagin V.A., Lyapin S.A., Dlugashevskiy A.V. Noosferologicheskie podkhody obespecheniya effektivnogo i ekologicheskogo bezopasnogo transportnogo obsluzhivaniya metallurgicheskikh kombinatov// Izvestiya SamNTS RAN. - Samara: SamNTS RAN, 2007. - Tom 2. Serii «Mashinostroenie» i «Ekologiya». - S. 184-187.
7. Korchagin V.A., Lyapin S.A. Metodologicheskie osnovy vzaimodeystviya avtotransportnykh sistem s okruzhayushchey sredoy // Avtotransportnoe predpriyatiye. - 2008. - №6. - S. 35-37.
8. Korchagin V.A., Lyapin S.A. Nauchno-prakticheskie podkhody transportnogo obsluzhivaniya metallurgicheskogo kombinata // Nauka i tekhnika transporta. - 2008. - №2. - S. 8-12.
9. GOST R 56829-2015. Natsional`nyy standart RF [Elektronnyy resurs] / 2016. - Rezhim dostupa: <http://vsegost.com/Catalog/61/61264.shtml>.
10. Departament transporta SSHA. ITS [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <http://www.its.dot.gov/>.
11. Internet veshchey v logistike: sovmestnyy otchet DHL i Cisco 2015. [Elektronnyy resurs] / Per. Vyacheslav Gladkov. - Opublikovano 13 maya 2016. - Rezhim dostupa: [http://json.tv/tech\\_trend\\_find/internet-veschey-v-logistike-sovmestnyy-otchet-dhl-i-cisco-20160511113055](http://json.tv/tech_trend_find/internet-veschey-v-logistike-sovmestnyy-otchet-dhl-i-cisco-20160511113055)
12. Zagorul`ko Yu.A., Zagorul`ko G.B. Iskusstvennyy intellekt. Inzheneriya znaniy: Uchebnoe posobie. - M.: YUrayt, 2018. - 94 s.
13. Bukhvalov O.L., Gorodetskiy V.I., Karsaev O.V. i dr. Proizvodstvennaya logistika: Strategicheskoe planirovaniye, prognozirovaniye i upravlenie konfliktami // Izvestiya YUFU. - 2012. - №3. - S. 209-218.
14. Bukhvalov O.L., Gorodetskiy V.I., Karsaev O.V. i dr. Raspredelennaya koordinatsiya v B2B-proizvodstvennykh setyakh // Izvestiya Yuzhnogo federal`nogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. - 2013. - №3. - S. 193-203.
15. Gorodetskiy V.I., Samoylov V.V., Trotskiy D.V. Bazovaya ontologiya kollektivnogo povedeniya avtonomnykh agentov i ee rasshireniya // Izvestiya RAN: Teoriya i sistemy upravleniya. - 2015. - №5. - S. 102-121.
16. Gorodetskiy V.I. Samoorganizatsiya i mnogoagentnye sistemy. II. Prilozheniya i tekhnologiya razrabotki // Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy upravleniya. - 2012. - №3. - S. 102-123.
17. Skobelev P.O. Intellektual`nye sistemy upravleniya resursami v real`nom vremeni: printsipy razrabotki, opyt promyshlennykh vnedreniy i perspektivy razvitiya // Prilozhenie k teoreticheskому i prikladnomu nauchno-tehnicheskому zhurnalnu «Informatsionnye tekhnologii». -2013. - №1. - S. 1-32.
18. Skobelev P.O. Mul`tiagentnye tekhnologii v promyshlennykh primeneniakh: k 20-letiyu osnovaniya Samarskoy nauchnoy shkoly mul`tiagentnykh sistem // Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie. - 2010. - №12. - S. 33-46.
19. Deloach S.A Moving multi-agent systems from research to practice // Int. J. Agent-Oriented Software Engineering. - 2009. - Vol. 3. - №4. - P. 378-382.
20. Moller J., Fisher K. Application Impact of Multiagent Systems and Technologies: A Survey // Agent-Oriented Software Engineering: book series. - Springer. - 2013. - P. 1-26.
21. Ivashchenko A.V., Syusin I.A., Fedosov A.V. Mul`tiagentnaya sreda dlya modelirovaniya i upravleniya deyatel`nost`yu virtual`nogo posredнического operatora v sfere uslug // Informatsionnye tekhnologii v upravlenii (ITU-2014): materialy konf. - SPb.: OAO «Kontsern «TSNII «Elektropribor», 2014. - S. 686-691.

### Lyapin Sergey Alexandrovich

Lipetsk State Technical University

Address: 398055, Russia, Lipetsk, Moskovskaya str., 30

Doctor of technical sciences

E-mail: lyapinserg2012@yandex.ru

### Kadasev Dmitry Anatolyevich

Lipetsk State Technical University

Address: 398055, Russia, Lipetsk, Moskovskaya str., 30

Candidate of technical sciences

E-mail: kadasev@mail.ru

### Rizaeva Julia Nikolaevna

MIREA - Russian Technological University

Address: Russia Moscow, Prospekt Vernadskogo, 78

Doctor of technical sciences

E-mail: rizaeva.u.n@yandex.ru

Научная статья

УДК 656.078:338.2

doi:10.33979/2073-7432-2023-4-2(83)-123-128

Ю.Н. РИЗАЕВА, В.А. ЛОГИНОВ, С.Н. СУХАТЕРИНА, А.Б. СУХАТЕРИН

## УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ ГРУЗОВОГО АВТОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

**Аннотация.** Рассмотрены подходы к управлению развитием грузового автотранспортного предприятия. Предложено применить упрощенную экономическую модель предприятия. Акцент сделан на распределении чистого дохода предприятия на две части: инвестиции в парк автомобилей и фонд оплаты труда работников предприятия. Выдвигается гипотеза о введении взвешивающей функции при влиянии инфляции на формирование фонда оплаты труда.

**Ключевые слова:** чистый доход автотранспортного предприятия, инвестиции в автомобильный парк, фонд оплаты труда работников, модель развития автотранспортного предприятия

### Введение

В работе [1] предполагалось, что распределение фонда оплаты труда во времени никакого значения не имеет, важно лишь максимизировать этот фонд.

При рассмотрении поведения решения при разных гипотезах о динамике фонда оплаты труда работников  $\Phi(t)$ , полагалось, что  $\Phi(t) = \Phi(0) \exp(rt)$ , то есть фонд оплаты труда работников увеличивается непрерывно с темпом прироста  $r$ .

Общее решение для уравнения чистого дохода автотранспортного предприятия (АТП)

$$Y(t) = B(t) \frac{dY(t)}{dt} + \Phi(t), \quad (1)$$

где  $Y(t)$  – чистый доход автотранспортного предприятия в момент времени  $t$ ;

$\Phi(t)$  – фонд оплаты труда работников АТП в момент времени  $t$ .

имеет вид

$$Y(t) = \bar{Y} \exp\left(\frac{1}{B}t\right) + \frac{1}{1 - Br} \Phi(0) \exp(rt). \quad (2)$$

При  $t=0$  находим  $Y(0) = \bar{Y} + \frac{\Phi(0)}{1 - Br}$ .

Тогда

$$\bar{Y} = Y(0) - \frac{\Phi(0)}{1 - Br}. \quad (3)$$

Следовательно,

$$Y(t) = \left[ Y(0) - \frac{\Phi(0)}{1 - Br} \right] \exp\left(\frac{1}{B}t\right) + \frac{1}{1 - Br} \Phi(0) \exp(rt). \quad (4)$$

Управляющим параметром является темп прироста фонда оплаты труда работников АТП  $r$ . При анализе предполагаем  $Y(0) > \Phi(0)$ .

Но в связи с инфляцией фонд оплаты труда в разные моменты времени неравномерен, поэтому необходимо в исследуемую модель ввести взвешивающую функцию

$$f(t) = e^{-wt}, \quad (5)$$

где  $w > 0$  – дисконт фонда оплаты труда работников.

В начальный момент времени фонд оплаты труда имеет вес  $f(0)=1$ , а затем вес убывает с непрерывным темпом  $w$ . Предел  $\lim_{t \rightarrow \infty} e^{-wt} = 0$ .

Более общая функция фонда оплаты труда имеет вид

$$\Phi(T) = \int_0^T e^{-wt} \Phi(t) dt = \int_0^T e^{-wt} [Y(t) - I(t)] dt, \quad (6)$$

где  $I(t)$  – инвестиции в автомобильный парк в момент времени  $t$ .

### Материал и методы

Получаем модель развития АТП

$$\begin{cases} \Phi(T) = \int_0^\infty e^{-wt} \Phi(t) dt \rightarrow \max; \\ Y(t) = B \frac{dY(t)}{dt} + I(t), \end{cases} \quad (7)$$

где  $B$  – акселератор чистого дохода АТП.

Для исследования модели используем принцип максимума Понtryгина. Функция Гамильтона имеет вид

$$H = e^{-wt} (Y - I) + P \frac{1}{B} I, \quad (8)$$

где  $P$  – «двойственная» переменная к чистому доходу АТП.

Функция Гамильтона порождает дифференциальное уравнение для двойственной переменной

$$\frac{dp}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial Y} = -e^{-wt} \quad \text{или} \quad dp = -e^{-wt} dt. \quad (9)$$

Интегрируем

$$P(t) = \frac{1}{w} e^{-wt} + const. \quad (10)$$

При  $t=T$   $P(t)=0$  и  $const = -\frac{1}{w} e^{-wt}$ .

Тогда

$$P(t) = -\frac{1}{w} e^{-wt} + \frac{1}{w} e^{-wt} = \frac{1}{w} (e^{-wt} - e^{-wT}). \quad (11)$$

Подставим в функцию Гамильтона

$$H = e^{-wt} (Y - I) + \frac{1}{w} (e^{-wt} - e^{-wT}) \frac{1}{B} I = \left[ \frac{1}{wB} (e^{-wt} - e^{-wT}) - e^{-wt} \right] I + e^{-wt} Y. \quad (12)$$

Величину управления определяет знак коэффициента при  $I$ :

$$I^*(t) = \begin{cases} Y(t), & \text{если } \frac{1}{wB} (e^{-wt} - e^{-wT}) > e^{-wt}; \\ 0, & \text{если } \frac{1}{wB} (e^{-wt} - e^{-wT}) < e^{-wt}. \end{cases} \quad (13)$$

Или

$$I^*(t) = \begin{cases} Y(t), & \text{если } (1 - wB) e^{w(T-t)} > 1; \\ 0, & \text{если } (1 - wB) e^{w(T-t)} < 1. \end{cases} \quad (14)$$

### Теория / Расчет

Предполагаем, что  $wB < 1$ , это условие на практике всегда выполняется.

Определяем момент «переключения» в (14).

$$\text{При } T - t = \bar{B}(w, B) = -\frac{1}{w} \ln(1 - wB), \quad (15)$$

где  $\bar{B}(w, B)$  – скорректированный акселератор чистого дохода АТП.

В этом случае  $(1 - wB)e^{w(T-t)} = 1$ .

При  $t \leq \bar{B}$  первая возможность в выражении (5) исключается и  $I^*(t) = 0$ , весь чистый доход идет на оплату труда работников. Так как  $\bar{B} > B$ , то величина периода времени, когда инвестиции неэффективны, увеличивается по сравнению с задачей на максимум недисконтируемого суммарного фонда оплаты труда [5].

При  $t > \bar{B}$  на отрезке  $[0, T - \bar{B}]$   $I^*(t) = Y(t)$ ,

где  $Y(t) = Y(0)\exp\left(\frac{1}{B}t\right)$ . Оптимальная траектория имеет релейное переключение в точке  $t = T - \bar{B}$ .

Рост с максимальным темпом  $\rho = \frac{1}{B}$  заканчивается раньше, чем в модели [5]. Максимальный уровень чистого дохода

$$Y^*(T - \bar{B}) = Y(0)\exp\left(\frac{T}{B}\right)(1 - wB)^{\frac{1}{wB}} \quad (16)$$

меньше, чем в точке переключения модели [5].

### Результаты и обсуждение

Хотя «этап оплаты труда» становится более продолжительным, суммарный фонд оплаты труда оказывается меньше из-за более низкого постоянного уровня оплаты труда:

$$\Phi^*(t) = \bar{B}Y^*(T - \bar{B}). \quad (17)$$

На рисунке 1 приведена траектория развития при дисконтировании фонда оплаты труда. В точке  $t = T - \bar{B}$  происходит релейное переключение. Первое релейное переключение происходит в точке  $t=0$ : скачок инвестиций в автомобильный парк с  $I(0)$  до  $Y(0)$  и падение фонда оплаты труда работников от  $\Phi(0)$  до нуля.

Главные недостатки решения, полученного в [5], сильная зависимость от величины  $T$  и релейное изменение структуры чистого дохода, не устраняются.

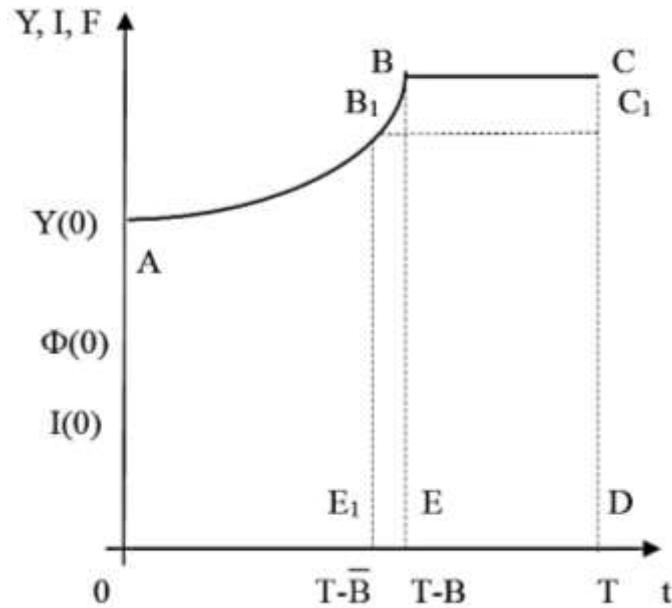


Рисунок 1 - Траектория развития при дисконтировании фонда оплаты труда

Площадь прямоугольника  $E_1B_1C_1D$  меньше площади  $EBCD$ .

### Выводы

Дисконтирование фонда оплаты труда несколько сглаживает недостатки модели [5]. Но дисконтирование не устраниет релейный характер динамики чистого дохода и большую

зависимость от величины  $T$ . Поэтому необходимы другие способы регулирования динамики и структуры чистого дохода.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ризаева Ю.Н., Логинов В.А., Кузнецов А.Е. Управление развитием грузового автотранспортного предприятия при гипотезе о непрерывном росте фонда оплаты труда работников // Вестник Липецкого государственного технического университета. - 2023. - №1. - С. 21-27.
2. Ризаева Ю.Н., Логинов В.А., Кузнецов А.Е. Управление развитием грузового автотранспортного предприятия при разных гипотезах о динамике фонда оплаты труда работников // Вестник Липецкого государственного технического университета. - 2022. - №3. - С. 57-62.
3. Ризаева Ю.Н., Логинов В.А., Третьяков А.С. Управление развитием грузового автотранспортного предприятия // Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте. - Липецк: ЛГТУ. - 2022. - С. 160-162.
4. Ризаева Ю.Н., Логинов В.А., Кузнецов А.Ю. Планирование поставок продукции при изменяющемся во времени спросе потребителя // Вестник Липецкого государственного технического университета. - 2021. - №3. - С. 54-59.
5. Логинов В.А., Суворов В.А., Ляхов А.С. Модель влияния научно-технического прогресса на производственно-экономическую деятельность грузового автотранспортного предприятия // Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте. - Липецк: ЛГТУ. - 2018. - С. 105-108.
6. Логинов В.А., Суворов В.А., Ляхов А.С. Квазипроизводственная функция грузового автотранспортного предприятия с переменной технологической структурой перевозок // Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте. - Липецк: ЛГТУ. - 2018. - С. 101-104.
7. Логинов В.А., Карташова А.К. Устойчивость развития транспортных систем // Тенденции развития современной науки: Сборник тезисов докладов научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета. - Липецк: ЛГТУ. - 2017. - С. 538-541.
8. Логинов В.А., Шапошников Ю.О. Снижение себестоимости грузовых автомобильных перевозок // Тенденции развития современной науки: Сборник тезисов докладов научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета. - Липецк: ЛГТУ. - 2017. - С. 683-685.
9. Корчагин В.А., Ризаева Ю.Н., Сухатерина С.Н. Теоретико-прикладные методы доставки сельскохозяйственной продукции // Аграрный научный журнал. - 2019. - №2. - С. 92-96.
10. Lyapin S., Rizaeva Y., Sysoev A., Kadasev D., Khabibullina E. Stages to create and develop module of regional intelligent transportation and logistics system // Transportation Research Procedia. Сеп. «Transport Infrastructure and Systems in a Changing World. Towards a more Sustainable, Reliable and Smarter Mobility, TIS Roma 2019 - Conference Proceedings». - 2020. - С. 939-946.
11. Ризаева Ю.Н., Сухатерина С.Н. Прикладные методы совершенствования доставки грузов // Матрица научного познания. - 2019. - №5. - С. 51-54.
12. Ризаева Ю.Н., Сухатерина С.Н., Кузнецов А.Ю. Государственная политика в области автомобильного транспорта // Вестник Липецкого государственного технического университета. - 2021. - №1(44). - С. 39-42.
13. Ляпин С.А., Ризаева Ю.Н., Кадасев Д.А. Проактивное управление транспортными потоками городов, выходящими на автомагистрали международных транспортных коридоров // Мир транспорта и технологических машин. - 2021. - №2(73). - С. 81-91.
14. Сухатерина С.Н., Корчагин В.А., Ризаева Ю.Н. Логико-графическая модель работы областного интеллектуального транспортно-логистического центра перевозок сельскохозяйственных культур / Под общей редакцией А.Н. Новикова // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы 5-ой Международной научно-практической конференции. - Орел: ОГУИМ. И.С. Тургенева. - 2020. - С. 113-117.
15. Müller J., Fisher K. Application Impact of Multiagent Systems and Technologies: A Survey // In «Agent-Oriented Software Engineering» book series. – Springer. - 2013. – Р. 1-26.
16. Сысоев А.С., Ляпин С.А., Галкин А.В., Ризаева Ю.Н. и др. Интеллектуальные методы управления транспортными системами // 3-е изд. - М: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2023. – 192 с.
17. Ризаева Ю.Н., Логинов В.А., Третьяков А.С. Управление развитием грузового автотранспортного предприятия // Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте. - Липецк: ЛГТУ. - 2022. - С. 160-162.
18. Плетнев М.Г., Жанказиев С.В. ИТС в процессах управления безопасным и сервисным движением // XIV всероссийская мультиконференция по проблемам управления МКПУ-2021. - Ростов-на-Дону - Таганрог: Южный федеральный университет. - 2021. - С. 158-161.
19. Жанказиев С.В. Управление мобильностью в открытых транспортных системах // XIV всероссийская мультиконференция по проблемам управления МКПУ-2021. - Ростов-на-Дону – Таганрог: Южный федеральный университет. - 2021. - С. 17-19.
20. Новиков А.Н., Емельянов И.П., Тарасов А.О. Целесообразность и направления развития интеллектуальных транспортных систем // Современные автомобильные материалы и технологии. - Курск: Юго-

Западный государственный университет. - 2020. - С. 147-152.

**Ризаева Юлия Николаевна**

МИРЭА – Российский технологический университет

Адрес: Россия, г. Москва, Проспект Вернадского, д. 78

Д.т.н., профессор кафедры метрологии и стандартизации, член Общественного совета при Министерстве транспорта РФ

E-mail: rizaeva@mirea.ru

**Логинов Владимир Анатольевич**

Липецкий государственный технический университет

Адрес: 398055, Россия, г. Липецк, ул. Московская, д. 30

К.э.н., доцент кафедры управления автотранспортом

loginov\_va@stu.lipetsk.ru

**Сухатерина Светлана Николаевна**

Липецкий государственный технический университет

Адрес: 398055, Россия, г. Липецк, ул. Московская, д. 30

К.т.н., доцент кафедры управления автотранспортом

E-mail: suhaterina\_cn@stu.lipetsk.ru

**Сухатерин Алексей Борисович**

МИРЭА – Российский технологический университет, ассистент

Адрес: Россия, Москва, Проспект Вернадского, д. 78

Ассистент

E-mail: suhat@stu.lipetsk.ru

---

YU.N. RIZAEVA, V.A. LOGINOV, S.N. SUKHATERINA, A.B. SUHATERIN

## **DEVELOPMENT MANAGEMENT FREIGHT MOTOR TRANSPORT ENTERPRISE**

*Abstract. Approaches to managing the development of a freight motor transport enterprise are considered. It is proposed to apply a simplified economic model of the enterprise. The emphasis is on the distribution of the net income of the enterprise into two parts: investments in the car park and the payroll fund for the employees of the enterprise. A hypothesis is put forward about the introduction of a weighting function under the influence of inflation on the formation of the wage fund.*

*Keywords:* net income of a motor transport company, investments in a car park, payroll fund for employees, development model of a motor transport company

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Rizaeva Yu.N., Loginov V.A., Kuznetsov A.E. Управление развитием грузового автотранспортного предпринятия при гипотезе о непрерывном росте фонда оплаты труда рабочих // Вестник Липецкого государственного технического университета. - 2023. - №1. - С. 21-27.
2. Rizaeva Yu.N., Loginov V.A., Kuznetsov A.E. Управление развитием грузового автотранспортного предпринятия при различных гипотезах о динамике фонда оплаты труда рабочих // Вестник Липецкого государственного технического университета. - 2022. - №3. - С. 57-62.
3. Rizaeva Yu.N., Loginov V.A., Tret'yakov A.S. Управление развитием грузового автотранспортного предпринятия // Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте. - Липецк: LGTU. - 2022. - С. 160-162.
4. Rizaeva Yu.N., Loginov V.A., Kuznetsov A.Yu. Планирование поставок продукции при изменяющихся вре- мени спросе потребителя // Вестник Липецкого государственного технического университета. - 2021. - №3. - С. 54-59.
5. Loginov V.A., Suvorov V.A., Lyakhov A.S. Model` vliyaniya nauchno-tehnicheskogo progressa na proizvodstvenno-ekonomiceskuyu deyatel`nost` gruzovogo avtotransportnogo predpriyatiya // Infokommunikatsionnye i intellektual`nye tekhnologii na transporte. - Lipetsk: LGTU. - 2018. - С. 105-108.
6. Loginov V.A., Suvorov V.A., Lyakhov A.S. Kvaziproizvodstvennaya funktsiya gruzovogo avtotransportnogo predpriyatiya s peremennoy tekhnologicheskoy strukturoy perevozok // Infokommunikatsionnye i intellektual`nye tekhnologii na transporte. - Lipetsk: LGTU. - 2018. - С. 101-104.
7. Loginov V.A., Kartashova A.K. Ustoichivost` razvitiya transportnykh sistem // Tendentsii razvitiya

sovremennoy nauki: Sbornik tezisov dokladov nauchnoy konferentsii studentov i aspirantov Lipetskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. - Lipetsk: LGTU. - 2017. - S. 538-541.

8. Loginov V.A., Shaposhnikov Yu.O. Snizhenie sebestoimosti gruzovykh avtomobil'nykh perevozok // Tendentsii razvitiya sovremennoy nauki: Sbornik tezisov dokladov nauchnoy konferentsii studentov i aspirantov Lipetskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. - Lipetsk: LGTU. - 2017. - S. 683-685.

9. Korchagin V.A., Rizaeva Yu.N., Sukhaterina S.N. Teoretiko-prikladnye metody dostavki sel'skokhozyaystvennoy produktsii // Agrarnyy nauchnyy zhurnal. - 2019. - №2. - S. 92-96.

10. Lyapin S., Rizaeva Y., Sysoev A., Kadasev D., Khabibullina E. Stages to create and develop module of regional intelligent transportation and logistics system // Transportation Research Procedia. Ser. «Transport Infrastructure and Systems in a Changing World. Towards a more Sustainable, Reliable and Smarter Mobility, TIS Roma 2019 - Conference Proceedings». - 2020. - S. 939-946.

11. Rizaeva Yu.N., Sukhaterina S.N. Prikladnye metody sovershenstvovaniya dostavki gruzov // Matritsa nauchnogo poznaniya. - 2019. - №5. - S. 51-54.

12. Rizaeva Yu.N., Sukhaterina S.N., Kuznetsov A.Yu. Gosudarstvennaya politika v oblasti avtomobil'nogo transporta // Vestnik Lipetskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. - 2021. - №1(44). - S. 39-42.

13. Lyapin S.A., Rizaeva Yu.N., Kadasev D.A. Proaktivnoe upravlenie transportnymi potokami gorodov, vykhodyashchimi na avtomagistrali mezhdunarodnykh transportnykh koridorov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2021. - №2(73). - S. 81-91.

14. Sukhaterina S.N., Korchagin V.A., Rizaeva Yu.N. Logiko-graficheskaya model` raboty oblastnogo intellektual'nogo transportno-logisticheskogo tsentra perevozok sel'skokhozyaystvennykh kul'tur / Pod obshchey redaktsiey A.N. Novikova // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: Materialy 5-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Orel: OGUim. I.S. Turgeneva. - 2020. - S. 113-117.

15. M?ller J., Fisher K. Application Impact of Multiagent Systems and Technologies: A Survey // «Agent-Oriented Software Engineering» book series. - Springer. - 2013. - P. 1-26.

16. Sysoev A.S., Lyapin S.A., Galkin A.V., Rizaeva Yu.N. i dr. Intellektual'nye metody upravleniya transportnymi sistemami // 3-e izd. - M: Izdatel'sko-torgovaya korporatsiya «Dashkov i K», 2023. - 192 s.

17. Rizaeva Yu.N., Loginov V.A., Tret'yakov A.S. Upravlenie razvitiem gruzovogo avtotransportnogo predpriyatiya // Infokommunikatsionnye i intellektual'nye tekhnologii na transporte. - Lipetsk: LGTU. - 2022. - S. 160-162.

18. Pletnev M.G., Zhankaziev S.V. ITS v protsessakh upravleniya bezopasnym i servisnym dvizheniem // XIV vserossiyskaya mul'tikonferentsiya po problemam upravleniya MKPU-2021. - Rostov-na-Donu - Taganrog: YUzhnyy federal'nyy universitet. - 2021. - S. 158-161.

19. Zhankaziev S.V. Upravlenie mobil'nostyu v otkrytykh transportnykh sistemakh // XIV vserossiyskaya mul'tikonferentsiya po problemam upravleniya MKPU-2021. - Rostov-na-Donu - Taganrog: YUzhnyy federal'nyy universitet. - 2021. - S. 17-19.

20. Novikov A.N., Emel'yanov I.P., Tarasov A.O. Tselesoobraznost` i napravleniya razvitiya intellektual'nykh transportnykh sistem // Sovremennye avtomobil'nye materialy i tekhnologii. - Kursk: YUgo-Zapadnyy gosudarstvennyy universitet. - 2020. - S. 147-152.

**Rizaeva Julia Nikolaevna**

MIREA - Russian Technological University  
Address: Russia Moscow, Prospekt Vernadskogo, 78  
Doctor of technical sciences  
E-mail: rizaeva@mirea.ru

**Loginov Vladimir Anatolievich**

Lipetsk State Technical University  
Address: 398055, Russia, Lipetsk, Moscow, 30  
Candidate of economic sciences  
E-mail: loginov\_va@stu.lipetsk.ru

**Sukhaterina Svetlana Nikolaevna**

Lipetsk State Technical University  
Address: 398055, Russia, Lipetsk, Moscow str., 30  
Candidate of technical sciences  
E-mail: suhaterina\_cn@stu.lipetsk.ru

**Sukhaterin Alexey Borisovich**

MIREA - Russian Technological University,  
Address: Russia Moscow, Prospekt Vernadskogo, 78  
Assistant  
E-mail: suhat@stu.lipetsk.ru

Научная статья

УДК 656.078

doi:10.33979/2073-7432-2023-4-2(83)-129-136

М.И. МАЛЫШЕВ

## **ОСНОВЫ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ ФОРМИРОВАНИЕМ КОМПЛЕКСНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ В ПРОЦЕССЕ ИНТЕГРАЦИИ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ КОРИДОРОВ И РЕГИОНАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

**Аннотация.** Объектом исследования являются комплексные транспортные системы, формирующиеся в процессе интеграции мультимодальных коридоров и инфраструктуры регионов, через которые проходят магистрали транспортной сети. Предметом исследования являются методы обеспечения эффективного объединения существующих, проектируемых и возводимых базовых объектов транспортной инфраструктуры. Целью настоящего исследования является выделения основ и описание процесса создания методологической базы, поиск принципов, форм и способов управления формированием современных комплексных транспортных систем. В результате исследования определен порядок разработки методологии и основные аспекты, которые необходимо учесть при выполнении научной работы. Настоящее исследования содержит обоснование актуальности разработки методологии управления формированием комплексных транспортных систем, описание особенностей перспективных сложных транспортных систем и методов их формирования.

**Ключевые слова:** методология проектирования, управление формированием, комплексная транспортная система, мультимодальная транспортная сеть, мультимодальный транспортный коридор, системная инженерия, таксономия

### **Введение**

В целях увеличения и улучшения национального производства, распределения общественного продукта и удовлетворения потребностей общества в качественных транспортных услугах необходимо осуществлять непрерывное развитие единой транспортной системы. Особенno важно развитие социально-ориентированной, эффективной и результативной по экономическим показателям транспортной системы для государства с обширной территорией и расположенными на существенном удалении друг от друга населенными пунктами, предприятиями и потребителями. В связи с тем, что на элементы транспортных систем и связи между ними значительное влияние оказывают технические и технологические новшества, материальная культура, социально-экономические и политические процессы, уровень развития транспортных систем в определенный период сопоставим с технологическим, экономическим и политическим укладами этого периода.

Развитие транспортной системы, это движение от несовершенного к совершенному при нахождении в состоянии объективной действительности. В процессе развития осуществляется переход от относительно простого состояния к более сложному и происходит становление качественно новых транспортных систем. При достаточно благоприятной конъюнктуре развитие транспортных систем происходит непрерывно и выражается переходом с одного уровня на другой. Становление транспортных систем заканчивается сформированностью на достигнутом уровне, что характеризуется определенной степенью завершенности и законченности.

Развитие транспортной отрасли в исторической ретроспективе связывают с использованием сил, обеспечивающих движение транспортных средств (ветра, течения рек, установок, приводящих транспорт в движение) и формированием транспортных систем, географически охватывающих регионы сетью путей сообщения и коммуникаций [1].

Единая транспортная система развивалась в соответствии с типом производственно-территориальной структуры, там, где были развиты или требовали развития производственные комплексы. Уровень развития транспортной системы объективно взаимозависел от территориальной организации хозяйства отдельно взятого региона [2].

Транспортные системы формировались исходя из социально-экономических потребностей государства и общества в транспортных услугах необходимого качества и приемлемой стоимости. К транспортным системам предъявлялись требования согласованного функционирования транспорта и перевозки требуемого количества пассажиров и объемов грузов при минимальных издержках.

На современном этапе закончено формирование транспортных систем, начавшееся при переходе страны к рыночной экономике. Происходит смена парадигмы. Наступает новый этап развития транспорта, который, несмотря на меняющуюся экономическую модель государства, больше связывают с продолжительным развитием и распространением технологий, в первую очередь информационных, цифровой революцией и интеллектуализацией транспортных и сопутствующих процессов [3, 4].

Технологии, связанные с искусственным интеллектом, развиваются быстрыми темпами и открывают беспрецедентные возможности для повышения эффективности работы транспортных предприятий и отрасли в целом. Применяемые на транспорте высокотехнологичные вычислительные инструменты, имитирующие работу человеческого мозга, но способные накапливать и быстрее обрабатывать большие объемы информации, позволяют более эффективно и действенно решать проблемы, связанные с растущими объемами пассажиропотока и грузооборота и влиянием транспорта на окружающую среду. В настоящее время с помощью инструментов, использующих возможности искусственного интеллекта, решаются задачи управления дорожным движением, обеспечения безопасности движения общественного транспорта и городской мобильности [5].

В транспортной отрасли, в основном за счет совершенствования информационных процессов, увеличивается объем и улучшается качество предоставляемых услуг. В связи с увеличением пассажиропотока и грузооборота растет парк подвижного состава, увеличивается количество и разнообразие используемых средств и устройств, происходит вовлечение в транспортные процессы сторонних лиц и организаций. Над классическими задачами транспорта, для выполнения которых формировалась транспортная отрасль, доминируют цели систем высшего порядка, настоящие и будущие экономические, социальные и политические запросы общества. Современная комплексная транспортная система усложняется настолько, что выполнение некоторых задач выходит за пределы возможностей естественного интеллекта.

Для опережающего развития современной комплексной транспортной системы, способной выполнять необходимые функции, достигать требуемые результаты и вносить максимально возможный вклад в экономику страны, необходимо управлять ее формированием в процессе взаимодействием с элементами внешней среды [6].

Целью настоящего исследования является выделения основ и описание процесса создания методологической базы, поиск принципов, форм и способов управления формированием современных комплексных транспортных систем.

Для достижения поставленной цели необходимо, используя доступные материалы и методы, исследовать существующие теории и практики формирования транспортных систем и направления их развития в долгосрочной перспективе. Важно учесть стратегии развития смежных и, оказывающих значительное влияние на формирование транспортных систем, перспективных областей науки и технологических отраслей.

Достижению цели исследования будет способствовать разработка методов управления формированием комплексных транспортных систем с учетом существующих мультимодальных коридоров и региональной инфраструктуры.

Настоящее исследование является продолжением ранее выполненных работ в области повышения эффективности мультимодальных перевозок на основе технологических решений, управления распространением цифровых информационных технологий и использования возможностей искусственного интеллекта в транспортных системах [3, 7, 8].

### **Материал и методы**

В процессе исследования применен стратегический подход, как функция управления, необходимая при выполнении долгосрочных действий. Использованы транспортная страте-

гия, концепция и стратегия научно-технологического развития. Использованы принципы системной инженерии и формирования методологических основ управления, учтены происходящие и перспективные преобразования комплексных транспортных систем, их элементов и связей. Для выбора направления и порядка исследования применен концептуальный подход. Использованы теория систем и принцип декомпозиции. В процессе изучения фактических обстоятельств, связанных с транспортной отраслью, и рефлексии выявлены проблемы управления формированием комплексных транспортных систем, выполнено обсуждение и осознание полученных результатов. Информационной базой послужили открытые отечественные и зарубежные источники информации по теме исследования, расположенные, в том числе на информационно-аналитических порталах, в библиографических и реферативных базах данных рецензируемой научной литературы.

### **Теория**

В процессе формирования современных транспортных систем происходит объединение классических элементов отрасли, включая пути сообщения, подвижной состав, транспортные сооружения и устройства, складские, транспортно-распределительные и логистические комплексы, предприятия и персонал. Объединение элементов транспортной системы обеспечивается с помощью коммуникационных и информационно-вычислительных средств, электроники, интеллектуальных и управлеченческих технологий. Отличительными признаками транспортной системы остаются выполняемые задачи по обеспечению потребности общества в непрерывном сообщении, перевозке пассажиров и грузов.

Транспортная система интегрирована в глобальную производственно-экономическую систему государства и является частью более крупных структур. Приоритетные цели транспортной системы продиктованы текущими экономическими процессами и формируемыми потребностями.

Для достижения приоритетных целей государства и транспортной отрасли используется механизм управления, включающий создание стратегических планов и программ [9].

Транспортная стратегия Российской Федерации разработана с учетом необходимости обеспечения национальной безопасности, пространственного развития, включая освоение Арктической зоны и популяризацию внутреннего туризма, развития экспорта услуг и евразийской экономической интеграции. Стратегией предусмотрены долгосрочные цели транспортной отрасли, к которым относится улучшение связанности и транспортной доступности территории, обеспечение мобильности граждан, увеличение объема и скорости перевозки грузов, в том числе транзитных, повышение инновационного потенциала и цифровизация транспорта, низкоуглеродная трансформация и развитие мультимодальных технологий [10, 11].

Транспортные системы характеризуются многокомпонентностью, образуют масштабные сети и имеют разветвленную и разнообразную инфраструктуру. В контексте настоящего исследования такие транспортные системы являются комплексными, функционирующими с применением интеллектуальных инструментов, взаимосвязанных средств и устройств, обеспечивающими выполнение в соответствии с целями систем высшего порядка необходимых операций в интересах участников транспортного процесса.

Комплексные транспортные системы, это совокупность элементов, объединенных в подсистемы с помощью функциональных структур, которые могут существовать условно независимо или связывать подсистемы. Например, мультимодальные транспортные системы образуются при взаимодействии магистральных видов транспорта с помощью информационных и терминальных подсистем.

Концепция методологии управления формированием транспортных систем может быть разделена на три основных блока. Концептуальная основа включает разработку теоретико-множественное представление и модели, исследование и выбор критериев оценки, формирование сбалансированных показателей транспортной системы, и математическую постановку проблемы с выбором метода ее решения. Информационная основа предполагает характеристику транспортной системы, внешних и внутренних факторов, влияющих, на ее

формирование, описание стоимости и размерности транспортной системы. Методологическая основа включает формирование облика транспортной системы, разработку множества стратегий изменения облика и мощностей транспортной системы, выбор эффективной стратегии и технологии управления реализацией стратегии [12].

Для страны с обширной территорией создание новых транспортных коммуникаций является высокозатратным процессом, поэтому необходимо выделять приоритетные объекты, способствующие наиболее эффективному достижению стратегических целей.

Одним из таких приоритетных объектов является маршрут транспортировки пассажиров и грузов между Россией и Индией с транзитом через Иран и ответвлениями в другие страны [13].

Процесс формирования транспортной системы начинается после выбора предпочтительных направлений, пунктов (регионов) начала и окончания транспортных потоков в соответствии с социально-экономическими задачами государства (рис. 1).



*Рисунок 1 – Схема формирования комплексных транспортных систем*

Основой для формирования транспортной системы являются магистрали различных видов транспорта, объединенные в мультимодальный транспортный коридор. Система мультимодальных транспортных коридоров является первым уровнем декомпозиции облика транспортной системы. В соответствии с реальными возможностями и экономической целесообразностью осуществляется распределения потоков и выбор приоритетного вида транспорта для каждого этапа транспортировки.

Связь этапов транспортировки и взаимодействия различных видов транспорта обеспечивают расположенные вдоль транспортных коридоров транспортные узлы. Перегрузочные площадки, распределительные комплексы и мультимодальные терминалы относятся ко второму уровню декомпозиции [14, 15].

Управление формированием транспортной системы включает постановку задач для решения выявленной проблемы, системотехнический анализ и разработку облика транспортной системы в виде системных представлений.

Эффективность управления формированием транспортных систем обеспечивается своевременным доступом в достаточном объеме к ретроспективным и перспективным данным. Актуальные сведения включают планируемые объемы пассажиропотока и грузооборота, данные об объектах инфраструктуры транспортной системы и социально-экономическом состоянии регионов, объединенных транспортной системой [12].

В соответствии с концепцией и Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации к сквозным технологиям, способствующим инновационному развитию производства и рынка услуг, относятся системы обработки данных и искусственного интел-

лекта. Объединение уровней декомпозиции, элементов комплексной системы и обеспечение обменом информацией между ними осуществляется посредством интеллектуальных транспортных систем. При формировании транспортной системы важной практической составляющей является интеллектуальная система на основе компьютерно-программных решений, обеспечивающая обработку информационных потоков и способная автономно решать тактические и рутинные, но не имеющие шаблонных решений, задачи.

Формализованное описание транспортной системы, ее элементов с связями, объединённых в функциональные подсистемы, возможно представить в виде математической модели комплексной транспортной системы с учётом интеграции мультимодальных коридоров и региональной инфраструктуры. Такая модель позволит оценить свойства транспортной системы через аналитические выражение, выявленные зависимости и сопоставление технико-эксплуатационных и финансово-экономических показателей.

Имитационная модель позволит описать структуру и воспроизвести внутренние процессы комплексной транспортной системы. С помощью логико-математического описания возможно провести анализ вероятностей и дать функциональную оценку транспортной системы.

В процессе функционирования транспортной системы объективно и точно оценивать текущую ситуацию позволит ее цифровая копия. Основой создания цифровой копии комплексной транспортной системы с целью оптимизации текущих процессов могут быть алгоритмы имитации отжига, оптимизации искусственной пчелиной и муравьиных колоний и др. Описание цифровой копии необходимо выполнить в процессе формирования комплексной транспортной системы.

Проектирование систем, состоящих из систем-компонентов, каждая из которых предназначена для решения организационных и производственных задач, может осуществляться в соответствии со стратегией системной инженерии [16].

Формируемые комплексные транспортные системы обладают характеристиками адаптивных систем. Системы-компоненты, например, структура региональных транспортных магистралей и узлов, могут формироваться и управляться локально, решать собственные задачи и совершенствоваться независимо от комплексной транспортной системы [17].

Разделяя понятия системы систем и системы подсистем стоит учесть, что принципы формирования системы подсистем не могут быть использованы, как основы для методологии управления формированием транспортных систем, так как в этом случае региональный транспорт должен быть полностью подчинен некоему центру. Комплексная транспортная система скорее является объединяющей, формирующейся в соответствии с социально-экономическим целями государства и ретранслирующей приоритеты функционирования. При этом у систем-компонентов остается свобода внутренних процессов.

Такие совместные системы могут быть построены на основании базового набора архитектурных принципов, представляющих собой стандарты, обеспечивающие полноценную связь между компонентами [18].

Комплексные транспортные системы включают мультимодальные сети, объединяющие несколько систем различных видов транспорта. В этой сложной системе участвует множество элементов, включая широкий круг лиц, принимающих решения, взаимодействующих заинтересованных сторон и выполняемых операций [19].

Из-за сложности моделирование всего объема операций, необходимости использования различных методов для управления транспортной деятельностью и поддержки процессов принятия решений, в целях структурирования методологии, возможно использовать таксономию, как полезный инструмент при выполнении необходимых исследований и определения полученных результатов.

### ***Результаты и обсуждение***

В результате проведенного исследования определен порядок разработки методологии управления формированием комплексных транспортных систем, и основные аспекты, которые необходимо учесть при выполнении научной работы.

Порядок разработки методологических основ включает анализ современных процессов управления формированием комплексных транспортных систем, изучение существующих концепций и обзор исследований в данной области, поиск и описание проблем устойчивого развития транспортных систем.

Необходимо сформулировать проблемы формирования транспортных систем, выбрать и обосновать выбор аппарата управления при возможности динамического согласования решения задач транспортной системы. Описать технологии и модели организации пассажиропотока и грузооборота на выбранном направлении [20].

При разработке методологических основ необходимо проработать технологию создания расчетной модели, описать аппарат оптимизации, выполнить имитационное и оптимизационное моделирование.

Применение методологических основ управления формированием комплексных транспортных систем способствует развитию транспортной системы страны, регионов и городов, разработке технологий организации и оптимизации использования подвижного состава магистрального транспорта. Позволяют осуществлять управление транспортным производством и перевозками в организационно-технических системах с использованием мультимодальных технологий и перспективных видов грузового и промышленного транспорта. Методологические основы способствуют оптимизации размещения транспортных предприятий и производств в регионе, обеспечению надежности, безопасности функционирования транспортных систем и управлению рисками. При оптимизации организационных структур и производственных процессов на транспорте учитывается необходимость минимизации влияния транспорта на окружающую среду.

Методологические основы управления формированием комплексных транспортных систем могут быть использованы в управлении процессами перевозок, эксплуатации автомобильного, железнодорожного, водного транспорта и авиационной техники. Методологические основы практически применимы при формировании и проектировании, а также в целях развития интеллектуальных и логистических транспортных систем.

### **Выводы**

Наука и производство, в том числе в транспортной сфере, переходят на новую ступень развития, что требует пересмотра устаревших методологий управления формированием комплексных транспортных систем.

Задача эффективного формирования транспортных систем является многофакторной. Необходимо обеспечить рациональное использование транспортных и других производственных ресурсов. Решить проблему многовариантности через имитационные модели и создание цифровых копий.

Методологические основы, являясь базой научного исследования процесса формирования комплексной транспортной системы, решают практические задачи обеспечения государства и общества транспортными услугами современного уровня. Положения методологических основ могут быть применены при формировании и развитии транспортного коридора «Север-Юг».

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Баженов Ю.М. К вопросу о периодизации истории мировой транспортной системы // Постсоветский материк. – 2022. – №1(33). – С. 123-138.
2. Казанский Н.Н. Экономико-географические аспекты единой транспортной сети СССР // Вопросы географии. – 1968. – №75. – С. 78-106.
3. Малышев М.И. Использование возможностей искусственного интеллекта для выявления повреждённых грузов по внешнему виду упаковки при выполнении логистических операций // Мир транспорта. – 2022. – Т. 20. - №4(101). – С. 61-72. – DOI 10.30932/1992-3252-2022-20-4-5.
4. Беляев В.М. Характеристики транспортных инфраструктур международных компаний // Интегрированная логистика. – 2010. – №2. – С. 17-19.
5. Abduljabbar R. et al. Applications of artificial intelligence in transport: An overview // Sustainability. – 2019. – Т. 11. – №1. – С. 189.

6. Чижков Ю.В. Международные транспортные коридоры-коммуникационный каркас экономики // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2015. – №5(60). – С. 9-15.
7. Малышев М.И. Обзор исследований в области повышения эффективности мультимодальных перевозок на основе технологических решений // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2020. – Т. 23. – №4. – С. 58-71. – DOI 10.26467/2079-0619-2020-23-4-58-71.
8. Малышев М. Управление распространением цифровых информационных технологий в транспортных системах // Логистика. – 2023. – №1(193). – С. 35-40. – DOI 10.54959/22197222\_2023\_01\_35.
9. Poister T.H. The future of strategic planning in the public sector: Linking strategic management and performance // Public administration review. – 2010. – Т. 70. – С. 246-254.
10. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года (в ред. распоряжения Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р). - М.: Правительство РФ, 2021.
11. Малышев М.И. Инновации в области городского общественного транспорта и перспективы внедрения принципов новой мобильности // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2022. – Т. 25. - №3. – С. 36-50. – DOI 10.26467/2079-0619-2022-25-3-36-50.
12. Нестерова Н.С., Анисимов В.А., Гончарук С.М. Проектирование мультимодальной транспортной сети // Бюллетень результатов научных исследований. – 2017. – №4. – С. 41-51.
13. Цветков В.А. и др. Моделирование процессов сопряжения и инновационного развития транспортно-транзитных систем России и стран Западной и Южной Азии. – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем рынка Российской академии наук, 2017.
14. Rondinelli D., Berry M. Multimodal transportation, logistics, and the environment: managing interactions in a global economy // European Management Journal. – 2000. – Т. 18. – №4. – С. 398-410.
15. Малышев М.И. Инновационные инструменты обеспечения омниканальности в управлении цепями поставок // Технологии информационного общества: Сборник трудов XVI Международной отраслевой научно-технической конференции, Москва, 02–03 марта 2022 года. – Москва: ООО «Издательский дом Медиа паблишер». - 2022. – С. 256-258.
16. Van Nes R. Design of multimodal transport networks: A hierarchical approach, 2002.
17. Малышев М.И. Принципы внедрения быстроразвивающихся инновационных технологий в процессы транспортной логистики // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – №3-3(78). – С. 127-134. – DOI 10.33979/2073-7432-2022-3(78)-3-127-134.
18. Maier M.W. Architecting principles for systems-of-systems // Systems Engineering: The Journal of the International Council on Systems Engineering. – 1998. – Т. 1. – №4. – С. 267-284.
19. Crainic T.G., Perboli G., Rosano M. Simulation of intermodal freight transportation systems: a taxonomy // European Journal of Operational Research. – 2018. – Т. 270. – №2. – С. 401-418.
20. Копылова Е.В., Козлов П.А., Колокольников В.С. Об имитационном моделировании и имитационных системах // Транспорт Урала. –2019. – №1. – С. 3-6.

**Малышев Максим Игорьевич**

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

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

К.т.н., доцент кафедры «Менеджмент»

E-mail: dicorus@mail.ru

M.I. MALYSHEV

## **BASES AND METHODOLOGICAL ASPECTS OF MANAGING THE FORMATION OF INTEGRATED TRANSPORT SYSTEMS IN THE PROCESS OF INTEGRATION OF MULTIMODAL CORRIDORS AND REGIONAL INFRASTRUCTURE**

***Abstract.*** The object of the study is complex transport systems formed in the process of integration of multimodal corridors and infrastructure of the regions through which the highways of the transport network pass. The subject of the study is the methods of ensuring effective integration of existing, projected and constructed basic transport infrastructure facilities. The purpose of this study is to highlight the basics and describe the process of creating a methodological base, searching for principles, forms and methods of managing the formation of modern integrated transport systems. As a result of the research, the procedure for developing the methodology and the main aspects that

need to be taken into account when performing scientific work are determined. The present study contains a justification of the relevance of developing a methodology for managing the formation of complex transport systems, a description of promising complex transport systems and methods of their formation.

**Keywords:** design methodology, formation management, integrated transport system, multi-modal transport network, multimodal transport corridor, system engineering, taxonomy

## BIBLIOGRAPHY

1. Bazhenov Yu.M. K voprosu o periodizatsii istorii mirovoy transportnoy sistemy // Postsovetskiy materik. - 2022. - №1(33). - S. 123-138.
2. Kazanskiy N.N. Ekonomiko-geograficheskie aspekty edinoy transportnoy seti SSSR // Voprosy geografii. - 1968. - №75. - S. 78-106.
3. Malyshev M.I. Ispol`zovanie vozmozhnostey iskusstvennogo intellekta dlya vyyavleniya povrezhdionnykh gruzov po vneshnemu vidu upakovki pri vypolnenii logisticheskikh operatsiy // Mir transporta. - 2022. - T. 20. - №4(101). - S. 61-72. - DOI 10.30932/1992-3252-2022-20-4-5.
4. Belyaev V.M. Harakteristiki transportnykh infrastruktur mezhdunarodnykh kompaniy // Integrirovannaya logistika. - 2010. - №2. - S. 17-19.
5. Abduljabbar R. et al. Applications of artificial intelligence in transport: An overview // Sustainability. - 2019. - T. 11. - №1. - S. 189.
6. Chizhkov Yu.V. Mezhdunarodnye transportnye koridory-kommunikatsionnyy karkas ekonomiki // Transport Rossiyskoy Federatsii. Zhurnal o naune, praktike, ekonomike. - 2015. - №5(60). - S. 9-15.
7. Malyshev M.I. Obzor issledovaniy v oblasti povysheniya effektivnosti mul`timodal`nykh perevozok na osnove tekhnologicheskikh resheniy // Nauchnyy vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoy aviatssi. - 2020. - T. 23. - №4. - S. 58-71. - DOI 10.26467/2079-0619-2020-23-4-58-71.
8. Malyshev M. Upravlenie rasprostraneniem tsifrovyykh informatsionnykh tekhnologiy v transportnykh sistemakh // Logistika. - 2023. - №1(193). - S. 35-40. - DOI 10.54959/22197222\_2023\_01\_35.
9. Poister T.H. The future of strategic planning in the public sector: Linking strategic management and performance // Public administration review. - 2010. - T. 70. - S. 246-254.
10. Transportnaya strategiya Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda s prognozom na period do 2035 goda (v red. rasporyazheniya Pravitel`stva Rossiyskoy Federatsii ot 27 noyabrya 2021 g. № 3363-r). - M.: Pravitel`stvo RF, 2021.
11. Malyshev M.I. Innovatsii v oblasti gorodskogo obshchestvennogo transporta i perspektivy vnedreniya printsipov novoy mobil`nosti // Nauchnyy vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoy aviatssi. - 2022. - T. 25. - №3. - S. 36-50. - DOI 10.26467/2079-0619-2022-25-3-36-50.
12. Nesterova N.S., Anisimov V.A., Goncharuk S.M. Proektirovaniye mul`timodal`noy transportnoy seti // Byulleten` rezul`tativ nauchnykh issledovaniy. - 2017. - №4. - S. 41-51.
13. TSvetkov V.A. i dr. Modelirovaniye protsessov sopryazheniya i innovatsionnogo razvitiya transportno-tranzitnykh sistem Rossii i stran Zapadnoy i Yuzhnoy Azii. - Federal`noe gosudarstvennoe byudzhetnoe uchrezhdenie nauki Institut problem rynka Rossiyskoy akademii nauk, 2017.
14. Rondinelli D., Berry M. Multimodal transportation, logistics, and the environment: managing interactions in a global economy // European Management Journal. - 2000. - T. 18. - №4. - S. 398-410.
15. Malyshev M.I. Innovatsionnye instrumenty obespecheniya omnikanal`nosti v upravlenii tsepyami postavok // Tekhnologii informatsionnogo obshchestva: Sbornik trudov XVI Mezhdunarodnoy otrazhevoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii, Moskva, 02-03 marta 2022 goda. - Moskva: OOO «Izdatel`skiy dom Media publisher». - 2022. - S. 256-258.
16. Van Nes R. Design of multimodal transport networks: A hierarchical approach, 2002.
17. Malyshev M.I. Printsipy vnedreniya bystrorazvivayushchikhsya innovatsionnykh tekhnologiy v protsessy transportnoy logistiki // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2022. - №3-3(78). - S. 127-134. - DOI 10.33979/2073-7432-2022-3(78)-3-127-134.
18. Maier M.W. Architecting principles for systems of systems // Systems Engineering: The Journal of the International Council on Systems Engineering. - 1998. - T. 1. - №4. - S. 267-284.
19. Crainic T.G., Perboli G., Rosano M. Simulation of intermodal freight transportation systems: a taxonomy // European Journal of Operational Research. - 2018. - T. 270. - №2. - S. 401-418.
20. Kopylova E.V., Kozlov P.A., Kolokol`nikov V.S. Ob imitatsionnom modelirovaniyu i imitatsionnykh sistemakh // Transport Urala. - 2019. - №1. - S. 3-6.

**Malyshev Maxim Igor`evich**

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)

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

Candidate of technical sciences

E-mail: dicorus@mail.ru

Научная статья

УДК 629.083

doi:10.33979/2073-7432-2023-4-2(83)-137-145

В.И. САРБАЕВ, С. ДЖОВАНИС, А.С. ГРИШИН

## ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ПОТРЕБНОСТИ АВТОСЕРВИСНОГО ЦЕНТРА В ЗАПАСАХ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ КИПР)

**Аннотация.** В статье проанализирована специфика процесса формирования потребности автосервисных предприятий в запасах запасных частей, а также потенциала влияния на него цифровых технологий управления. Объектом исследования выступили 20 автосервисных центров Республики Кипр. В ходе исследования анализировались изменения в период с 2019 по 2022 гг. коэффициента цифровизации управления запасами, сервисного коэффициента и рентабельности запасов. Выявлено наличие статистически достоверной прямой связи между изменениями индекса цифровизации и рентабельности запасов по ЕВИТ. Отмечен прогресс в цифровизации управления запасами в автосервисных центрах Республики Кипр за период, однако обращается внимание на недостаточность уровня цифровизации для успешного решения поставленных задач. Предлагается активизировать цифровые трансформации на основе повышения осведомленности собственников, публичной инициативы по цифровому обучению и распространения доступных цифровых платформ управления.

**Ключевые слова:** управление запасами, запасные части, автосервисный центр, анализ запасов, эффективность управления запасами, цифровизация, Республика Кипр

### **Введение**

В настоящей работе на примере Республики Кипр раскрыта специфика процесса формирования потребности автосервисных предприятий в запасах запасных частей, а также потенциала влияния на него цифровых технологий управления. На основе материалов, приведенных в релевантных научных источниках [1-7], представляется возможным отметить, что для эффективного управления запасами запасных частей в автосервисном центре необходимо проводить анализ ретроспективных показателей, оценивать спрос и потребности, формировать очередность технического обслуживания, определять оптимальные запасы на складах и прогнозировать технико-экономические показатели. Указанные процессы помогают обеспечить надлежащий уровень запасов и эффективное управление ими, что, в свою очередь, способствует повышению качества обслуживания клиентов и рентабельности бизнеса.

В 2020-е годы особое внимание обращает на себя потенциал цифровизации, применение которой позволит с минимальными вмененными издержками рационализировать управленические воздействия на исследуемые процессы, включая те из них, которые ранее рассматривались как едва ли не стохастические. Материалы проведенного исследования направлены на дополнительное обоснование необходимости активизации перехода на цифровое управление процессом формирования потребностей автосервисных центров Республики Кипр и других государств в запасах запасных частей.

### **Материал и методы**

Исследование проведено по материалам функционирования автосервисных предприятий Республики Кипр и основывается на сочетании общенаучных (анализ, синтез, индукция, дедукция) и частно-научных методах познания (наблюдение, статистический анализ). Особое внимание уделено аспектам цифровизации управления процессом формирования потребности автосервисного центра в запасах запасных частей.

Для выявления взаимосвязи между достигнутым прогрессом в области цифровизации и результативностью управления процессом формирования потребностей автосервисных центров Республики Кипр, проведен сбор и анализ статистических данных по 20 компаниям, представляющим малый (6 компаний), средний (12 компаний) и крупный (2 компании) бизнес. Анализ предусматривал оценку значений показателя цифровизации (индекс цифровизации бизнес-процесса управления запасами, далее индекс цифровизации) и ключевых показателей результативности управления запасами: сервисного коэффициента и показателя рентабельности запасов по ЕВИТ (Earnings Before Interest and Taxes - прибыль до вычета процентов и налогов), по состоянию на 31.12.2019 г. и 31.12.2022 г.

Индекс цифровизации определялся на основе выборочного анкетирования руководителей компаний, оценивавших процентный охват бизнес-процессов в предметной области цифровыми инструментами и методами, затем переводимые в значения, соответствующие целочисленным долям, и представлен в виде набора показателей [0;1]. Расчет проводился по формуле (1):

$$D = \frac{BP_d}{BP}, \quad (1)$$

где  $D$  – количество цифровизованных бизнес-процессов (управляемых с применением цифровых технологий, инструментов, методов и средств);

$BP_d$  – количество деталей, поставленных по первой заявке;

$BP$  – общее число бизнес-процессов в предметной области, идентифицированных в ходе аудита/инжиниринга.

Для контроля полученных значений применялась методология оценки показателей цифровизации/«Индустрии 4.0», приведенная в [8]. Оценка сервисного коэффициента проводилась по показателям управленческого учета анализируемых компаний. Коэффициент, представленный в диапазоне значений [0;1] характеризовал отношение позиций по запросам запасных частей, удовлетворенных по первому требованию, к общему числу запросов, измеряемому за календарный год. Расчет проводился по формуле (2):

$$S = \frac{N_s}{N_r}, \quad (2)$$

где  $S$  – сервисный коэффициент;

$N_s$  – количество деталей, поставленных по первой заявке;

$N_r$  – совокупное количество деталей, запрошенных со складов, расположенных вне сервисного центра, на основании оформленных заявок

Показатель рентабельности затрат на запчасти оценивался как выраженное в процентах отношение полученной прибыли (ЕВИТ) к среднему за год остатку запасов запасных частей в непосредственном распоряжении автосервисного центра.

### **Теория / Расчет**

Опираясь на имеющиеся сведения [9-12], могут быть выделены ключевые факторы влияния на процесс формирования потребности автосервисного центра в запасах запасных частей:

1. Объемы выполняемых работ: чем больше автосервисный центр обслуживает автомобилей, тем больше запасных частей ему требуется.

2. Марки автомобилей: разные марки автомобилей имеют разные характеристики и требуют разных запасных частей. Например, автосервисный центр, специализирующийся на обслуживании автомобилей марки BMW, будет иметь большую потребность в запасных частях для этой марки. Соответственно, фактор специализации на определенном бренде, а также принадлежность к дилерской сети, окажут положительное влияние на результативность процесса формирования потребностей в запасных частях.

3. Сезонность: в зависимости от времени года и климатических условий, автосервисный центр может иметь повышенную потребность в запасных частях. Например, в зимний период может увеличиться спрос на запасные части для системы отопления и охлаждения.

4. Степень износа: автомобили, которые находятся в эксплуатации длительное время, требуют замены запасных частей. Автосервисный центр должен учитывать этот фактор и иметь достаточное количество запасных частей на складе.

5. Наличие поставщиков: автосервисный центр должен иметь надежных поставщиков запасных частей, чтобы обеспечить своевременную поставку необходимых деталей.

6. Стоимость запасных частей: стоимость запасных частей может варьироваться в зависимости от марки автомобиля и типа детали. Автосервисный центр должен учитывать этот фактор при планировании своих запасов.

7. Экологический фактор: потенциально влечет к изменению спроса на определенные типы запчастей. Например, если в регионе, где находится автосервисный центр, введены более жесткие экологические нормы (как имеет место в Республике Кипр – стране Европейского Союза (ЕС), с жестким экологическим регулированием), данное обстоятельство может привести к увеличению спроса на запчасти и технологии обслуживания, которые помогают снизить выбросы вредных веществ, такие как катализаторы или фильтры для очистки выхлопных

газов. Также экологический фактор может повлиять на выбор поставщиков запчастей, так как автосервисный центр может предпочитать работать с компаниями, которые заботятся об экологии и производят запчасти с минимальным воздействием на окружающую среду.

Специалисты, отвечающие за управление запасами запасных частей на автосервисных предприятиях, призваны решать вопросы, связанные с определением момента подачи заявки на пополнение запаса и объемами заявки. Однако, в современных условиях, в особенности на небольших, в том числе семейных, автосервисных предприятиях, доминирующих в анализируемой сфере бизнеса Республики Кипр, самостоятельное управление запасными частями может не осуществляться, поскольку данную функцию зачастую передают по аутсорсингу сторонней организации или управляющей компании при сетевом формате организации бизнеса. Кроме того, возможности автоматизации управления позволяют отказаться от назначения конкретных работников, ответственных за выполнение наиболее распространенных функций в области управления запасами в автосервисных центрах.

В третьем десятилетии XXI века широко раскрылся потенциал масштабного и всестороннего укрепления управленческих воздействий на процесс формирования потребности автосервисного центра в запасах запасных частей посредством цифровизации [13-16]. Цифровые технологии управления процессом формирования потребности автосервисного центра в запасах запасных частей могут значительно улучшить эффективность и точность этого процесса. В частности, современные автосервисные предприятия могут успешно использовать специализированные программы для учета запасных частей и автоматического формирования заказов на их пополнение.

Применение современных цифровых технологий также предоставит автосервисному центру возможность получать информацию о состоянии запасов запасных частей в режиме реального времени, что позволит быстро реагировать на изменения спроса и предложения на рынке запасных частей. Кроме того, цифровые технологии могут помочь автосервисному центру оптимизировать процесс управления запасами, в частности, путем использования алгоритмов прогнозирования спроса на запасные части и оптимизации уровня запасов в зависимости от этого спроса.

В настоящей публикации рассмотрены аспекты перспективного влияния цифровых инструментов и методов на процесс формирования потребности автосервисного центра в запасах запасных частей с учетом специфики автосервисного бизнеса в Республике Кипр, ключевые характеристики которой включают в себя нижеследующее [17, 18]:

1. Высокая конкуренция. На Республике Кипр действует более 10 000 автосервисных центров, что приводит к сильной конкуренции на рынке.
2. Высокие цены на запчасти. Импортные запчасти на Республике Кипр стоят дороже, чем в других странах (прежде всего в связи с особенностями территориальной локализации островного государства), что повышает стоимость ремонта.
3. Сравнительно высокий уровень автомобилизации населения.
4. Низкий уровень технической подготовки местных механиков. Несмотря на наличие специализированных учебных заведений, многие механики на Республике Кипр не имеют достаточной технической подготовки.
5. Высокий уровень требований к качеству обслуживания. Киприоты очень требовательны к качеству обслуживания, поэтому автосервисные центры должны обеспечивать высокий уровень сервиса.
6. Наличие специфических требований к ремонту автомобилей. Некоторые автомобили, особенно японские и корейские марки, имеют специфические требования к ремонту, что требует наличия специализированных знаний и оборудования. Дополнительное влияние оказывает экологическое законодательство ЕС вместе с законами о защите прав потребителей и законодательством о защите конкуренции.

Для определения потребности автосервисного центра в запасах запасных частей целесообразно использовать подход, основанный на функции минимизации суммарных издержек автотранспортного предприятия, который отражает многолетнюю устойчивую практику научного обеспечения подходов к прогнозированию запасов автомобильных запасных частей [19]. Данный подход актуализирован с учетом динамики сервисных технологий и условий их практической реализации в автосервисном бизнесе в Республике Кипр:

$$C_{int} = f (C_T; C_{PT}; C_{XT}; C_{Xi}; C_{ESG}; rekl; T; Q_T; z; q; n; t_n), \quad (3)$$

где  $C_{int}$  – суммарные издержки при формировании запасов запасных частей автосервисного центра;

$C_T$  – затраты автосервисного предприятия на транспортировку запасных частей (с распределительного центра – на склад, со склада в сервисный центр если применимо и др.);

$C_{PT}$  – затраты автосервисного предприятия на завоз отдельной партии запасных частей;

$C_{XT}$  – затраты автосервисного предприятия на хранение товаров за период  $T$ ;

$C_{Xi}$  – затраты автосервисного предприятия на хранение одной единицы запасов запасных частей;

$C_{ESG}$  – затраты автосервисного предприятия, связанные с покрытием издержек ESG;

$rekl$  – санкционные платежи по рекламациям, в том числе взысканные в судебном порядке или в процессе досудебного урегулирования;

$T$  – продолжительность анализируемого периода;

$Q_T$  – оборот запасных частей на автосервисном предприятии за период  $T$ ;

$z$  – размер среднего запаса запасных частей;

$q$  – размер партии поставки запасных частей;

$n$  – число поставок запасных частей;

$t_n$  – интервал пополнения запасов.



Рисунок 1 – Алгоритм реализации типового бизнес-процесса обеспечения потребности автосервисного центра в запасах запасных частей

Системы управления запасами на автосервисных предприятиях являются важным элементом организации бизнеса и включают в себя объект управления – запасы запасных частей, субъект управления – лиц, принимающих управленческие решения, а также принципы управления, бизнес-процессы и результаты.

В свою очередь, типовые бизнес-процессы в системах управления запасами на автосервисных предприятиях включают в себя учет поступления и движения запасов, прогнозирование и планирование запасов, определение потребностей в запасных частях, расчет оптимальных параметров запасов, отслеживание уровня запасов, взаимодействие со поставщиками/складами, маркировку запасных частей и мониторинг и контроль. Системы управления запасами на автосервисных предприятиях дифференцируются в зависимости от модели организации бизнеса, грамотный подход к выбору в предметной области позволяет эффективно управлять запасами и обеспечивать бесперебойную работу автосервиса.

Бизнес-процесс формирования запасов запасных частей для пополнения складов

непосредственного хранения в автосервисном центре является важным элементом организации бизнеса в Республике Кипр.

Он включает несколько этапов, начиная от определения необходимых запасных частей и оптимального количества до размещения заказов, получения и проверки качества деталей, их хранения и отслеживания уровня запасов. Процесс, визуализированный на рисунке 1, должен быть организован эффективно и точно, чтобы обеспечить надлежащее функционирование автосервисного центра и удовлетворение потребностей клиентов.

Результаты анализа влияния цифровизации управления бизнес-процессом формирования потребности автосервисного центра в запасах запасных частей на его результативность приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Анализ влияния цифровизации на результативность управления бизнес-процессом формирования потребности автосервисного центра в запасах запасных частей

N	Индекс цифровизации управления запасами			Сервисный коэффициент			Рентабельность запасов по ЕБИТ, %		
	2019 г.	2022 г.	Изм. абс.	2019 г.	2022 г.	Изм. абс.	2019 г.	2022 г.	Изм. абс.
1	0,26	0,27	0,01	0,65	0,56	-0,09	5,08	3,01	-2,07
2	0,55	0,56	0,01	0,83	0,81	-0,02	11,33	7,17	-4,16
3	0,34	0,44	0,1	0,56	0,65	0,09	7,98	13,22	5,24
4	0,56	0,61	0,05	0,78	0,82	0,04	13,09	15,01	1,92
5	0,11	0,23	0,12	0,39	0,48	0,09	-1,34	5,16	6,5
6	0,22	0,55	0,33	0,52	0,78	0,26	5,01	18,11	13,1
7	0,11	0,32	0,21	0,39	0,66	0,27	-2,22	8,98	11,2
8	0,09	0,21	0,12	0,19	0,41	0,22	-4,98	5,01	9,99
9	0,76	0,78	0,02	0,91	0,84	-0,07	19,66	20,08	0,42
10	0,81	0,88	0,07	0,98	0,99	0,01	14,56	16,01	1,45
11	0,21	0,22	0,01	0,44	0,42	-0,02	6,21	1,98	-4,23
12	0,15	0,34	0,19	0,36	0,61	0,25	0,34	7,88	7,54
13	0,55	0,67	0,12	0,77	0,85	0,08	14,01	19,31	5,3
14	0,44	0,67	0,23	0,72	0,87	0,15	9,09	21,21	12,12
15	0,32	0,34	0,02	0,21	0,2	-0,01	6,78	7,11	0,33
16	0,24	0,26	0,02	0,44	0,46	0,02	3,45	2,12	-1,33
17	0,13	0,18	0,05	0,23	0,29	0,06	0,56	3,22	2,66
18	0,56	0,61	0,05	0,81	0,85	0,04	17,11	18,81	1,7
19	0,11	0,2	0,09	0,32	0,37	0,05	0,14	5,16	5,02
20	0,16	0,3	0,14	0,33	0,57	0,24	0,56	6,51	5,95
<b>Среднее</b>	<b>0,33</b>	<b>0,43</b>	<b>0,10</b>	<b>0,54</b>	<b>0,62</b>	<b>0,08</b>	<b>6,32</b>	<b>10,25</b>	<b>3,93</b>
<b>Стандартное отклонение</b>	<b>0,23</b>	<b>0,22</b>	<b>0,09</b>	<b>0,25</b>	<b>0,22</b>	<b>0,11</b>	<b>6,94</b>	<b>6,71</b>	<b>5,17</b>

Результаты корреляционного анализа между показателями трехлетней динамики индекса цифровизации управления запасами, сервисного коэффициента и рентабельностью запасов по ЕБИТ на автосервисных центрах Республики Кипр приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Корреляционная матрица, составленная по результатам анализа

Показатели	Изменение уровня цифровизации	Изменение сервисного коэффициента	Изменение рентабельности
Изменение уровня цифровизации	1	-	-
Изменение сервисного коэффициента	0,8634	1	-
Изменение рентабельности	<b>0,9235</b>	0,8681	1

На рисунке 2 отражены средние значения наблюдаемых показателей и их динамики по выборке из 20 автосервисных центров Республики Кипр

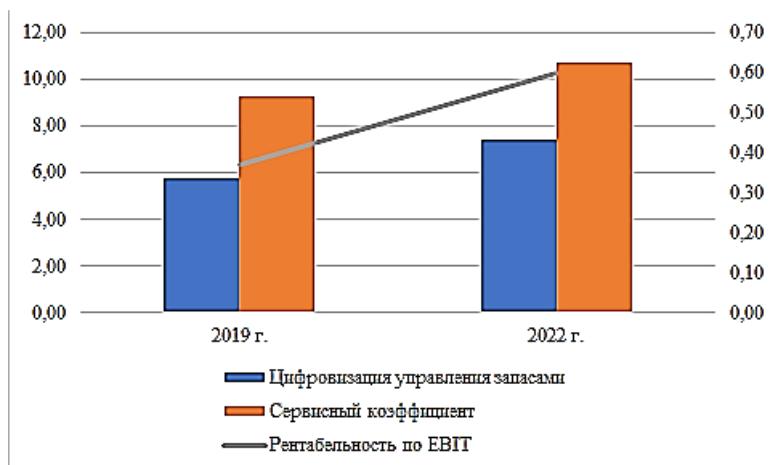


Рисунок 2 – Средние значения наблюдаемых показателей и их динамики по выборке

Источник: Рассчитано автором

### Результаты

Анализируя представленные материалы, прежде всего следует отметить, что, хотя уровень цифровизации управления в предметной области значительно варьирует, между тем, с одной стороны, показатель устойчиво растет (по всем 20 компаниям наблюдался рост за анализируемый период, в том числе обусловленный развитием цифровых технологий и повышением доступности практико-ориентированных решений). С другой стороны, средние значения достигнутого показателя уровня цифровизации по итогам 2022 года не достигают даже 50 % охвата всех бизнес-процессов.

Корреляционный анализ указывает на наличие тесной взаимосвязи между изменениями индекса цифровизации и соответствующей динамикой показателя рентабельности запасов на автосервисных предприятиях (коэффициент корреляции по Пирсону 0,9235,  $p = 0,0032$  при  $\alpha = 0,05$ ). Иными словами, чем более динамично происходят цифровые трансформации в управлении запасами в автосервисных центрах Республики Кипр, тем более результативным оказывается их положительное влияние на значение рентабельности запасов. Также наблюдается прямая взаимосвязь между изменениями в индексе цифровизации управления запасами и сервисным коэффициентом (коэффициент корреляции по Пирсону 0,8634), однако результаты анализа в данном случае не позволяют опровергнуть нулевую гипотезу, что может быть связано с воздействием других факторов на обеспеченность заявок, включая затаривание склада, негативно влияющее на рентабельность запасов.

Наличие корреляции между значениями и динамикой сервисного коэффициента и рентабельности запасов соответствует теоретическим представлениям по поводу того, что оба показателя описывают результативность управления запасами автосервисных центров и входят в интегральный индикатор эффективности обеспечения запасами [20].

### Обсуждение

Полученные результаты позволяют констатировать, что цифровизация процесса формирования потребности автосервисного центра в запасах запасных частей является необходимой для повышения эффективности и точности этого процесса. В настоящее время, когда автосервисные центры работают с большим количеством автомобилей разных марок и моделей, необходимо иметь точную информацию о запасных частях, которые нужны для ремонта каждого автомобиля.

Цифровизация процесса формирования потребности в запасных частях позволяет автосервисному центру автоматизировать процесс заказа запасных частей, ускорить процесс и уменьшить количество ошибок. Цифровизация также позволяет автосервисному центру управлять своими запасами более эффективно, что может привести к сокращению затрат на запасные части и улучшению финансовых показателей.

Кроме того, цифровизация процесса формирования потребности в запасных частях позволяет автосервисному центру получать более точную информацию о запасных частях, кото-

рые нужны для ремонта каждого автомобиля, помогая автосервисному центру предоставлять более качественные услуги своим клиентам и повышать уровень их удовлетворенности.

В условиях наличия резервов повышения уровня цифровизации бизнес-процессов в предметной области и при доступности соответствующих решений, они должны активно применяться, с четким пониманием колоссального потенциала положительного влияния на процессы формирования и обеспечения потребности автосервисных центров в запасных частях. Сказанное справедливо не только для компаний из Республики Кипр, но и для автосервисных центров по всему миру, в том числе в странах Евразийского Союза (ЕАЭС).

Одной из ключевых проблем в предметной области выступает ограниченная доступность прорывных цифровых решений для цифровизации в анализируемой области, связанная, применительно к автосервисным центрам Республики Кипр, с небольшим размером большинства предприятий, лимитированными финансовыми, организационными ресурсами, цифровыми компетенциями. Решения в предметной области связаны с повышением уровня осведомленности собственников бизнеса и менеджеров о потенциале применения прорывных цифровых технологий, а также реализацией государственной или публичной инициативы по цифровому обучению и распространению доступных цифровых платформ для управления, в частности, в виде простых в использовании и подходящих для малого автосервисного бизнеса с ограниченной номенклатурой запасных частей мобильных приложений и систем распределения с общих складов, построенных по принципам шеринговой экономики.

### **Выходы**

Для эффективного управления запасами запасных частей в автосервисном центре необходимо проводить анализ ретроспективных показателей, оценивать спрос и потребности, формировать очередность технического обслуживания, определять оптимальные запасы на складах и прогнозировать технико-экономические показатели. В 2020-е годы особое внимание обращает на себя потенциал цифровизации, применение которой позволит с минимальными вмененными издержками рационализировать управляемые воздействия на исследуемые процессы. Цифровизация процесса формирования потребности в запасных частях является необходимой для повышения эффективности и точности данного процесса, улучшения управления запасами и предоставления более качественных услуг клиентам автосервисного центра. Для решения проблемы ограниченной доступности прорывных цифровых решений необходимо повышение уровня осведомленности собственников бизнеса и менеджеров о потенциале применения прорывных цифровых технологий, реализация публичной инициативы по цифровому обучению и распространение доступных цифровых платформ для управления.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Бугримов В.А., Кондратьев А.В., Сарбаев В.И. Совершенствование методов обеспечения запасными частями станций технического обслуживания // Информационные технологии и инновации на транспорте. – 2019. – С. 255-263.
2. Верительник Е.А., Таращанский М.Т. Технико-экономические показатели работы склада запасных частей как элемента автотранспортного предприятия // Мир транспорта и технологических машин. – 2019. – №2. – С. 116-124.
3. Григорян Г.А. Формирование системы управленческого учета затрат по центрам финансовой ответственности // Экономические и гуманитарные науки. – 2014. – №1. – С. 18-30.
4. Раскатова М.И. Экспертные методы в управлении запасами // Вестник Челябинского государственного университета. – 2017. – №5. – С. 119-126.
5. Сарбаев В.И., Разговоров К.И., Ерошин А.Ю. Методы определения рационального уровня запаса запасных частей на предприятиях автосервиса // Итоги и перспективы интегрированной системы образования в высшей школе России: образование – наука – инновационная деятельность: Труды II международной научно – практической конференции. – М., МГИУ. - 2011. – С. 765-769.
6. Теньковская С.А., Власов А.В. Повышение эффективности управления материальными запасами автотранспортного предприятия в условиях Крайнего севера и Сибири // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2020. – №2. – С. 61-69.
7. Филатов М.И., Юсупова О.В. Формирование резерва запасных частей для ремонта транспортно-технологических машин // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2014. – №10(171). – С. 213-218.
8. KPMG Digitalization index: Basic Methodology 2023 Review. – Amsterdam, KPMG, 2023. – 88 р.

9. Солнцев А.А., Зенченко В.А., Гулый В.В. Основные подходы и принципы оптимизации потребности в запасных частях для дилерской сети СТО в районах ее деловой активности // Проблемы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта. – М.: МАДИ. - 2019. – С. 91-96.
10. Chen C. et al. An integrated deep learning-based approach for automobile maintenance prediction with GIS data // Reliability Engineering & System Safety. – 2021. – Vol. 216. – 107919.
11. dos Santos Pilar M.F. Automobile Repair Scheduling: A Real case. – Instituto Politecnico do Porto (Portugal), 2019.
12. Toomey J.W. Inventory management: principles, concepts and techniques. Springer Science & Business Media, 2020.
13. Гулый В.В. Методика прогнозирования потребности и оптимизации количества запасных частей дилерской сети станций технического обслуживания: дис ... канд. техн. наук. – М., 2022. – 150 с.
14. Крамаренко Е.Р. и др. Модель управления запасами в автосервисе // Исследование и проектирование интеллектуальных систем в автомобилестроении, авиастроении и машиностроении («ISMCA'2019»). – 2019. – С. 128-131.
15. Пуляев Н.Н., Куриленко А.В., Шакзада У.Н. Цифровизация в современных станциях технического обслуживания // Наука без границ. – 2021. – №4(56). – С. 57-61.
16. Riahi Y. et al. Artificial intelligence applications in supply chain: A descriptive bibliometric analysis and future research directions // Expert Systems with Applications. – 2021. – Vol. 173. – 114702.
17. Masouras A., Pistikou V., Komodromos M. Innovation Analysis in Cypriot Small and Medium-sized Enterprises and the Role of the European Union // Entrepreneurship, Institutional Framework and Support Mechanisms in the EU. – Emerald Publishing Limited. - 2021.
18. Республика Кипр, Статистическая служба [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.cystat.gov.cy/el/default>.
19. Гришин А.С. Разработка методики прогнозирования потребности предприятий автосервиса в запасных частях: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2005. - 153 с.
20. Абжанова Е.С., Никулина С.Н. Анализ обеспеченности организации материально-производственными запасами // Вопросы устойчивого развития общества. – 2020. – №3-2. – С. 489-495.

**Сарбаев Владимир Иванович**

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

**Джованис Симос**

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

**Гришин Александр Сергеевич**

ООО СП «БИЗНЕС КАР»  
Адрес: 113452, Россия, г. Москва, Балаклавский проспект, 26  
К.т.н., начальник отдела корпоративного развития и контроля  
E-mail: agrishin@toyotabc.ru

V.I. SARBAEV, S. TZIOVANNIS, A.S. GRISHIN

## **DIGITALIZATION OF THE PROCESS OF FORMING THE NEED OF A CAR SERVICE CENTER FOR STOCKS OF SPARE PARTS (ON THE EXAMPLE OF THE REPUBLIC OF CYPRUS)**

**Abstract:** The article analyzes the specifics of the process of formation of the need of auto service enterprises in stocks of spare parts, as well as the potential for the influence of digital management technologies on it. The object of the study were 20 car service centers of the Republic of Cyprus. The study analyzed changes in the period from 2019 to 2022. inventory management digitalization ratio, service ratio and inventory profitability. The presence of a statistically significant direct relationship between changes in the digitalization index and EBIT margin of stocks was revealed. Progress was noted in the digitalization of inventory management in car service centers of the Republic of Cyprus over the period, however, attention is drawn to the insufficiency of the level of digitalization for the successful solution of the tasks set. It is proposed to intensify digital transformations based on raising awareness of owners, a public digital learning initiative and the dissemination of affordable digital management platforms.

**Keywords:** inventory management, spare parts, car service center, inventory analysis, inventory management efficiency, digitalization, Republic of Cyprus

## BIBLIOGRAPHY

1. Bugrimov V.A., Kondrat'ev A.V., Sarbaev V.I. Sovershenstvovanie metodov obespecheniya zapasnymi chastyami stantsiy tekhnicheskogo obsluzhivaniya // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte. - 2019. - S. 255-263.
2. Veritel'nik E.A., Tarashchanskiy M.T. Tekhniko-ekonomicheskie pokazateli raboty sklada zapasnykh chastej kak elementa avtotransportnogo predpriyatiya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2019. - №2. - S. 116-124.
3. Grigoryan G.A. Formirovaniye sistemy upravlencheskogo ucheta zatrata po tsentram finansovoy otvetstvennosti // Ekonomicheskie i gumanitarnye nauki. - 2014. - №1. - S. 18-30.
4. Raskatova M.I. Ekspertnye metody v upravlenii zapasami // Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta. - 2017. - №5. - S. 119-126.
5. Sarbaev V.I., Razgovorov K.I., Eroshin A.Yu. Metody opredeleniya ratsional'nogo urovnya zapasa zapasnykh chastej na predpriyatiyakh avtoservisa // Itogi i perspektivy integrirovannoy sistemy obrazovaniya v vysshey shkole Rossii: obrazovanie - nauka - innovatsionnaya deyatel'nost': Trudy II mezdunarodnoy nauchno - prakticheskoy konferentsii. - M., MGIU. - 2011. - C. 765-769.
6. Ten'kovskaya S.A., Vlasov A.V. Povyshenie effektivnosti upravleniya material'nyimi zapasami avtotransportnogo predpriyatiya v usloviyakh Kraynego severa i Sibiri // Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya. - 2020. - №2. - S. 61-69.
7. Filatov M.I., Yusupova O.V. Formirovaniye rezerva zapasnykh chastej dlya remonta transportno-tehnologicheskikh mashin // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. - 2014. - №10(171). - S. 213-218.
8. KPMG Digitalization index: Basic Methodology 2023 Review. - Amsterdam, KPMG, 2023. - 88 p.
9. Solntsev A.A., Zenchenko V.A., Gulyy V.V. Osnovnye podkhody i printsipy optimizatsii potrebnosti v zapasnykh chastyakh dlya dilerskoy seti STO v rayonakh ee delovoy aktivnosti // Problemy tekhnicheskoy ekspluatatsii i avtoservisa podvizhnogo sostava avtomobil'nogo transporta. - M.: MADI. - 2019. - S. 91-96.
10. Chen C. et al. An integrated deep learning-based approach for automobile maintenance prediction with GIS data // Reliability Engineering & System Safety. - 2021. - Vol. 216. - 107919.
11. dos Santos Pilar M.F. Automobile Repair Scheduling: A Real case. - Instituto Politecnico do Porto (Portugal), 2019.
12. Toomey J.W. Inventory management: principles, concepts and techniques. Springer Science & Business Media, 2020.
13. Gulyy V.V. Metodika prognozirovaniya potrebnosti i optimizatsii kolichestva zapasnykh chastej dilerskoy seti stantsiy tekhnicheskogo obsluzhivaniya: dis ... kand. tekhn. nauk. - M., 2022. - 150 s.
14. Kramarenko E.R. i dr. Model' upravleniya zapasami v avtoservise // Issledovanie i proektirovaniye intellektual'nykh sistem v avtomobilestroenii, aviastroenii i mashinostroenii ("ISMCA'2019"). - 2019. - S. 128-131.
15. Pulyaev N.N., Kurilenko A.V., Shakzada U.N. Tsifrovizatsiya v sovremennykh stantsiyakh tekhnicheskogo obsluzhivaniya // Nauka bez granits. - 2021. - №4(56). - S. 57-61.
16. Riahi Y. et al. Artificial intelligence applications in supply chain: A descriptive bibliometric analysis and future research directions // Expert Systems with Applications. - 2021. - Vol. 173. - 114702.
17. Masouras A., Pistikou V., Komodromos M. Innovation Analysis in Cypriot Small and Medium-sized Enterprises and the Role of the European Union // Entrepreneurship, Institutional Framework and Support Mechanisms in the EU. - Emerald Publishing Limited. - 2021.
18. Respublika Kipr, Statisticheskaya sluzhba [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://www.cystat.gov.cy/el/default>.
19. Grishin A.S. Razrabotka metodiki prognozirovaniya potrebnosti predpriyatiy avtoservisa v zapasnykh chastyakh: dis ... kand. tekhn. nauk. - M., 2005. - 153 s.
20. Abzhanova E.S., Nikulina S.N. Analiz obespechennosti organizatsii material'no-proizvodstvennymi zapasami // Voprosy ustoychivogo razvitiya obshchestva. - 2020. - №3-2. - S. 489-495.

**Sarbaev Vladimir Ivanovich**

Moscow Polytechnic University

Address: 107023, Russia, Moscow, B.Semenovskaya str.

Doctor of technical sciences

E-mail: visarbaev@gmail.com

**Grishin Aleksandr Sergeevich**

JV «BUSINESS CAR» LLC

Address: 113452, Russia, Moscow, Balaklavsky Prospekt

Candidate of technical sciences

E-mail: agrishin@toyotabc.ru

**Tziovannis Simos**

Moscow Polytechnic University

Address: 107023, Russia, Moscow, B.Semenovskaya str.

Postgraduate student

E-mail: singmanos@yahoo.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 ссылайтесь 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 вверху - 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 расположено 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 строкой, 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 расположено 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 символадается с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формуле. Единицы измерения даются в соответствии с Международной системой единиц СИ.

Переносить формулы на следующую строку допускается только на знаках выполняемых операций, причем знак в начале следующей строки повторяют.

### Пример оформления формулы в тексте

$$q_1 = (\alpha - 1)^2 (1 + \frac{1}{2\alpha})/d, \quad (1)$$

где  $\alpha = 1 + 2\alpha/b$  - коэффициент концентрации напряжений;

$d = 2\alpha$  - 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](http://www.oreluniver.ru).  
E-mail: [info@oreluniver.ru](mailto: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](http://www.oreluniver.ru).  
E-mail: [srmostu@mail.ru](mailto: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 30.11.2023 г.  
Дата выхода в свет 26.12.2023 г.  
Формат 70x108/16. Усл. печ. л. 9,3  
Цена свободная. Тираж 500 экз.  
Заказ № 279

Отпечатано с готового оригинал-макета  
на полиграфической базе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»  
302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95