

ISSN 2073-7432

# МИР ТРАНСПОРТА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 1-3(88) 2025

Научно-технический  
журнал  
Издается с 2003 года  
Выходит четыре раза в год

**№ 1-3(88) 2025**

# Мир транспорта и технологических машин

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

**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)  
**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. О.** д-р техн. наук, проф. (Сербия)  
**Денисов А.С.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Евтиков С.А.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Жаковская Л.** д-р. наук, проф. (Польша)  
**Жанказиев С.В.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Захаров Н.С.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Зырянов В.В.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Маткеримов Т.Ы.** д-р техн. наук, проф. (Кыргызстан)  
**Прентковский О.** д-р техн. наук, проф. (Литва)  
**Прижибыл П.** д-р техн. наук, проф. (Чехия)  
**Пугачев И.Н.** д-р техн. наук, доц. (Россия)  
**Пушкирев А.Е.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Рассоха В.И.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Ременцов А.Н.** д-р пед. наук, проф. (Россия)  
**Ризаева Ю.Н.** д-р техн. наук, доц. (Россия)  
**Сарбаев В.И.** д-р техн. наук, профессор (Россия)  
**Трофименко Ю.В.** д-р техн. наук, проф. (Россия)  
**Трофимова Л.С.** д-р техн. наук, доц. (Россия)  
**Шарата А.** д-р. наук, проф. (Польша)

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

**Адрес редколлегии:**  
302030, Россия, Орловская обл., г. Орёл,  
ул. Московская, 77  
Тел. +79058566556  
<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,  
2025

## Содержание

<i>Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте</i>	A.А. Сабинин	Некоторые аспекты осуществления федерального государственного контроля (надзора) сотрудниками подразделений дорожного надзора госавтоинспекции в целях обеспечения безопасности дорожного движения.....	3
<b>Управление процессами перевозок</b>			
C.А. Жбанова	Анализ основных мероприятий по организации и обеспечению безопасности дорожного движения на современном этапе.....	10	
A.Н. Новиков, С.А. Жесткова	Цифровизация управления транспортно-логистическими процессами сетевой доставки груза автомобильным транспортом.....	18	
<b>Эксплуатация автомобильного транспорта</b>			
A.Ю. Родичев	Аспекты формирования твердосмазочных антифрикционных покрытий в процессе его нанесения при техническом обслуживании и ремонте автомобильного транспорта.....	24	
Л.Е. Кущенко, С.В. Кущенко, А.А. Кравченко, Д.И. Андрюшина	Влияние климатических факторов на надежность и долговечность транспортных средств.....	34	
P.Н. Сафиуллин, Р.Р. Сафиуллин, К.В. Сорокин, Н.С. Кулаков	Метод управления вторичным напряжением системы зажигания энергетических установок транспортных средств.....	42	
D.А. Дрючин	Методы оптимизации структурных параметров городского пассажирского транспорта.....	52	
K.Я. Лелиовский, М.Г. Корчажкин	Определение на стенде влияния эксплуатационных дефектов зубчатых колес на вибрационные характеристики работы коробок передач.....	62	
R.A. Сподарев	Определение количества парковочных мест на автотранспортном предприятии.....	69	
A.С. Курочкин, А.Д. Кустиков, М.Г. Корчажкин, Л.А. Бердников	Определение периодичности обслуживания вариаторных коробок передач легковых автомобилей в условиях городской эксплуатации.....	75	
E.С. Козин	Оптимизация организационной структуры предприятий автомобильного сервиса.....	82	
A.А. Юнг, А.Г. Шевцова, В.В. Васильева, А.А. Долиненко	Разработка математической модели прогнозирования аварийности с участием средств индивидуальной мобилизации.....	90	
C.Н. Глаголев, И.А. Новиков, Д.А. Лазарев, Д.П. Стрекалов	Теоретический подход к определению коэффициента сцепления шин транспортных средств с дорогой в лабораторных условиях при экспертизе дорожно-транспортных происшествий.....	97	
A.В. Горин, И.В. Родичева, А.Д. Серебренников, О.А. Акимочкина	Управление виброзащитными системами автомобиля на основе обучения с подкреплением в условиях неопределенности.....	105	
H.А. Загородний	Формирование диапазонов параметров, определяющих эксплуатационные режимы для отдельных агрегатов автомобилей.....	110	
<b>Интеллектуальные транспортные системы</b>			
A.В. Белов, Ю.В. Бутенко	Анализ возможности и перспектив достижения системно-оптимального распределения транспортных потоков с появлением подключенных и высокавтоматизированных транспортных средств.....	120	
А.Ф. Залибовский, Р.Р. Сафиуллин, В.А. Ефремова	Структурный анализ транспортной системы горных предприятий.....	129	
<b>Логистические транспортные системы</b>			
E.Л. Иовлева, Н.А. Филиппова, А.А. Неретин	Обеспечение устойчивости транспортной мобильностии доставки грузов северного завода.....	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  
**№ 1-3(88) 2025**

# 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. Rodimzhev Doc. Eng.**

*Editorial Board:*  
**E.V. Ageev Doc. Eng., Prof. (Russia)**  
**I.E. Agureev Doc. Eng., Prof. (Russia)**  
**V.N. Baskov Doc. Eng., Prof. (Russia)**  
**V.M. Vlasov Doc. Eng., Prof. (Russia)**  
**S.N. Glagolev Doc. Eng., Prof. (Russia)**  
**M. Demic Doc. Eng., Prof. (Serbia)**  
**A.S. Denisov Doc. Eng., Prof. (Russia)**  
**S.A. Evtukov Doc. Eng., Prof. (Russia)**  
**L. Źakowska Ph.D., Doc. Sc., Prof. (Poland)**  
**S.V. Zhanakaziev Doc. Eng., Prof. (Russia)**  
**N.S. Zaharov Doc. Eng., Prof. (Russia)**  
**V.V. Zyryanov Doc. Eng., Prof. (Russia)**  
**T.Y. Matkerimov Doc. Eng., Prof. (Kyrgyzstan)**  
**O. Prentkovskis Doc. Eng., Prof. (Lithuania)**  
**P. Pribyl Doc. Eng., Prof. (Czech Republic)**  
**I.N. Pugachev Doc. Eng. (Russia)**  
**A.E. Pushkarev Doc. Eng., Prof. (Russia)**  
**V.I. Rassoha Doc. Eng., Prof. (Russia)**  
**A.N. Rementsov Doc. Edc., Prof. (Russia)**  
**Yu.N. Rizaeva Doc. Eng. (Russia)**  
**V.I. Sarbaev Doc. Eng., Prof. (Russia)**  
**Yu.V. Trofimenko Doc. Eng., Prof. (Russia)**  
**L.S. Trofimova Doc. Eng. (Russia)**  
**A. Szarata Ph.D., Doc. Sc., Prof. (Poland)**

*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) [www.akc.ru](http://www.akc.ru)

© Registration. Orel State University, 2025

## Contents

*Transport and transport-technological systems of the country, its regions and cities, organization of production in transport*

**A.A. Sabinin Some aspects of the implementation of federal state control (supervision) by employees of traffic supervision units of the state traffic inspectorate in order to ensure road safety** ..... 3

### *Management of transportation processes*

**S.A. Zhananova Analysis of the main measures for the organization and maintenance of road safety at the present stage** ..... 10  
**A.N. Novikov, S.A. Zhestkova Digitalization of the management of transport and logistics processes of network cargo delivery by road** ..... 18

### *Operation of motor transport*

**A.Yu. Rodichev Aspects of formation of solid lubricant anti-friction coatings in the process of its application during maintenance and repair of motor vehicles** ..... 24  
**L.E. Kushchenko, S.V. Kushchenko, A.A. Kravchenko, D.I. Andryushina The influence of climatic factors on the reliability and durability of vehicles** ..... 34  
**R.N. Safiullin, R.R. Safiullin, K.V. Sorokin, N.S. Kulakov Method of controlling secondary voltage of vehicle ignition system** ..... 42  
**D.A. Dryuchin Assessment of the mutual influence of the structural parameters of the material base of the urban passenger transport system** ..... 52  
**K.Y. Leliovsky, M.G. Korchazhkin Determination on the stand of the effect of operational defects of gears on the vibration characteristics of gearboxes** ..... 62  
**R.A. Spodarev Determination of the number of parking spaces at a motor transport company** ..... 69  
**A.S. Kurochkin, A.D. Kustikov, M.G. Korchazhkin, L.A. Berdnikov Determination of the frequency of continuously variable transmission maintenance of passenger cars in urban operation** ..... 75  
**E.S. Kozin Optimization of organizational structure of automobile service enterprises** ..... 82  
**A.A. Jung, A.G. Shevtsova, V.V. Vasilyeva, A.A. Dolinenko Development of a mathematical model for predicting accidents involving personal mobility equipment** ..... 90  
**S.N. Glagolev, I.A. Novikov, D.A. Lazarev, D.P. Strelakalov Theoretical approach to determining the adhesion coefficient of vehicle tires to the road in laboratory conditions during the expertise of road accidents** ..... 97  
**A.V. Gorin, I.V. Rodicheva, A.D. Serebrennikov, O.A. Akimochkina Control of vehicle vibration protection systems based on reinforcement learning under uncertainty** ..... 105  
**N.A. Zagorodny Formation of ranges of parameters that determine the operating conditions for individual vehicle units** ..... 110

### *Intelligent transport systems*

**A.V. Belov, Y.V. Butenko Analysis of the possibility of achieving system-optimal traffic assignment with the emergence of connected and highly automated vehicles** ..... 120  
**A.F. Zalyubovskiy, R.N. Safiullin, V.A. Efremova Improving the transport system of the mining industry based on structural analysis** ..... 129

### *Logistic transport systems*

**E.I. Iovleva, N.A. Filippova, A.A. Neretin Ensuring sustainability of transport mobility for delivery of northern delivery cargo** ..... 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*

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

УДК 342.98

doi:10.33979/2073-7432-2025-1-3(88)-3-9

А.А. САБИНИН

**НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ФЕДЕРАЛЬНОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО КОНТРОЛЯ (НАДЗОРА) СОТРУДНИКАМИ  
ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ДОРОЖНОГО НАДЗОРА ГОСАВТОИНСПЕКЦИИ В  
ЦЕЛЯХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ**

**Аннотация.** В настоящей статье рассмотрен порядок реализации контрольно-надзорных полномочий сотрудниками подразделений дорожного надзора Госавтоинспекции в рамках реализации обеспечения безопасности дорожного движения. С учетом проводимой в стране административно-правовой реформы, обозначены ключевые изменения указанной деятельности, проблемные аспекты, возникающие в процессе контроля и надзора за соблюдением обязательных требований в области обеспечения безопасности дорожного движения. Сформулированы предложения по совершенствованию деятельности подразделений дорожного надзора Госавтоинспекции.

**Ключевые слова:** дорожный надзор, Госавтоинспекция, государственный контроль, профилактика рисков, постоянный рейд, безопасность дорожного движения

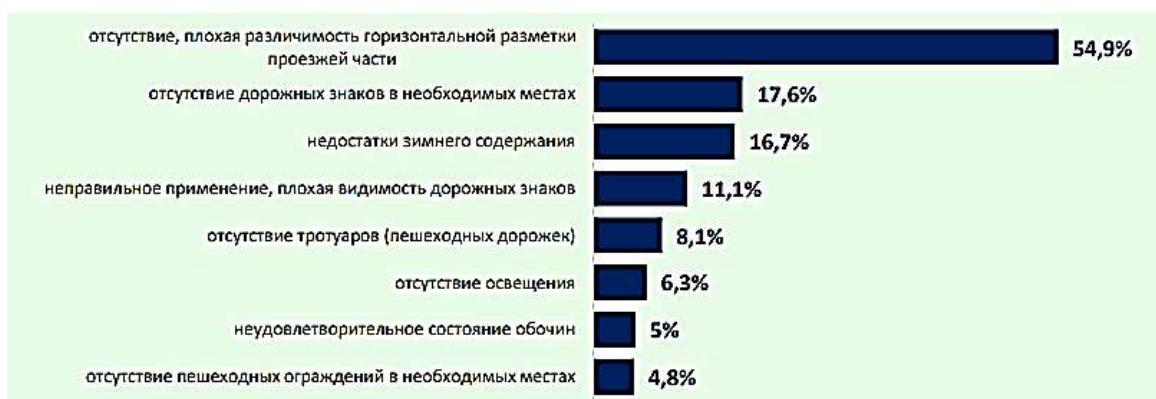
**Введение**

Вопросам обеспечения безопасности дорожного движения в Российской Федерации уделяется особо пристальное внимание. Снижение дорожно-транспортной аварийности должно обеспечить социальный и экономический рост государства. Важность повышения безопасности на дорогах обозначил Президент Российской Федерации В.В. Путин на расширенном заседании коллегии МВД РФ [14].

Вместе с тем отметим, что в течение 2023 года общее количество дорожно-транспортных происшествий (далее ДТП) в стране увеличилось на 2,7 %, в отдельных регионах наблюдается рост количества погибших в ДТП [2]. Согласно статистическим данным существенное влияние на дорожно-транспортную аварийность оказывает неудовлетворительное состояние улично-дорожной сети.

Сопутствующие неудовлетворительные дорожные условия (далее НДУ) в 2023 году зафиксированы почти в третьей части дорожно-транспортных происшествий, что в свою очередь обуславливает необходимость повышения эффективности работы подразделений дорожного надзора Госавтоинспекции по контролю (надзору) за соблюдением обязательных требований при содержании, строительстве, ремонте и реконструкции дорог, дорожных сооружений, железнодорожных переездов и линий городского наземного электрического транспорта, влияющих на безопасность дорожного движения. Вид и соотношение сопутствующих НДУ представлено на рисунке 1 [3].

В системе государственных органов, уполномоченных на осуществление контроля и надзора за соблюдением обязательных требований в области дорожной деятельности Госавтоинспекция МВД России занимает особую роль [15]. В научной литературе отмечается необходимость проведения модернизации указанного направления деятельности [10]. При этом реформирование указанной области административного регулирования на современном этапе обуславливает существенные изменения в деятельности подразделений дорожного надзора [11]. Отмечается так же несовершенство правовой регламентации в данной сфере [13].



*Рисунок 1 - Вид и соотношение сопутствующих НДУ при дорожно-транспортных происшествиях в 2023 г.*

### *Материал и методы*

В системе принятого в настоящий момент правового регулирования законодательство о контроле (надзоре) на федеральном уровне представлено Федеральным законом № 248-ФЗ, федеральными законами о видах контроля и утверждаемые Правительством РФ положения о видах контроля [8]. Согласимся с мнением С.Н. Антонова о том, что в современных условиях единый механизм правового регулирования контрольно-надзорной деятельности Госавтоинспекции фактически отсутствует [1].

С принятием ФЗ № 248 существенным образом изменились мероприятия государственного контроля (надзора), осуществляемые подразделениями дорожного надзора Госавтоинспекции. Принятие указанного нормативного документа обусловило реализацию административной реформы контрольно-надзорной деятельности [7].

В предшествующий реформе контрольно-надзорной деятельности период была распространена практика выдачи обязательных к выполнению предписаний уполномоченными должностными лицами Госавтоинспекции при выявлении недостатков улично-дорожной сети с указанием обязательного срока их устранения. Нарушение установленных сроков влекло состав административного правонарушения по ч. 27 ст. 19.5 КоАП РФ. Оперативная выдача предписаний стимулировала хозяйствующие субъекты в области дорожной деятельности устранять выявленные нарушения. Указанная административно-правовая мера воздействия осталась и с принятием ФЗ 248. Так, одним из видов принимаемых решений по результатам контрольно-надзорных мероприятий является предписание об устранении выявленных нарушений с указанием разумных сроков их устранения и (или) о проведении мероприятий по предотвращению причинения вреда.

В соответствии со ст. 90 ФЗ № 248 и ст. 70 Постановления Правительства № 1101 предписание может быть выдано только в результате проведения контрольно-надзорного мероприятия (далее КНМ) с обязательным внесением в единый реестр контрольных надзорных мероприятий (ЕРКНМ). Это затруднило применение данного административного инструмента со стороны сотрудников Госавтоинспекции. Статистика, подведенная Научным центром безопасности дорожного движения показывает, что в 2023 году выдано в 18 раз меньше предписаний по сравнению с аналогичным периодом предыдущего года [3].

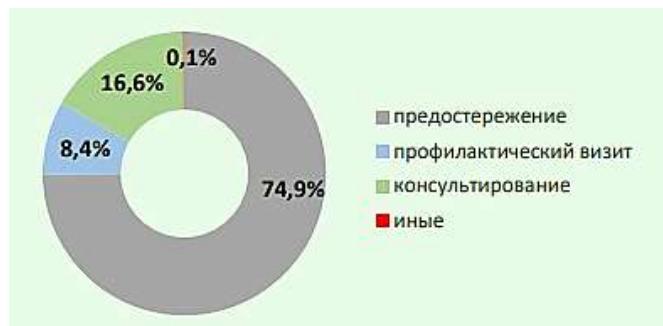
При этом порядок привлечения к административной ответственности юридического либо должностного лица в рамках осуществления надзора по ФЗ № 248 был существенно изменен. Так, Федеральным законом от 14 июля 2022 г. № 290-ФЗ изменена ч. 3.1 ст. 28.1 Кодекса Российской Федерации об административных правонарушениях (далее – КоАП РФ). Согласно данной правовой норме производство по делам об административных правонарушениях по составам, объективную сторону которых составляет несоблюдение обязательных требований, подлежащих оценке в рамках ФЗ № 248, может быть начато только после проведения КНМ во взаимодействии с контролируемым лицом, постоянного рейда.

Отметим, что в современных условиях санкционного давления со стороны недружественных стран, возникла необходимости снижения административной нагрузки на хозяйствующие субъекты. В рамках реализации указанной цели было принято постановление Правительства Российской Федерации от 10 марта 2022 г. № 336 «Об особенностях организации и осуществления государственного контроля (надзора) и муниципального контроля» (далее постановление № 336). Рассматривая положения указанного нормативного документа применительно к деятельности подразделений дорожного надзора отметим, что существенно изменился порядок проведения контрольно-надзорных мероприятий.

Так, в настоящее время действует мораторий на проведение плановых КНМ, внеплановые КНМ, внеплановые проверки сотрудниками дорожного надзора Госавтоинспекции проводятся исключительно при условии согласования с органами прокуратуры. В перспективе, согласно предложениям, внесённым Президентом РФ В.В. Путиным в своем послании Федеральному собранию РФ 2024 года, временный мораторий на поведение плановых КНМ в отношении юридических лиц планируется заменить отменой плановых проверок и переходом на надзорные действия с учетом установленных критериев рисков [12]. Таким образом, ключевая роль при реализации контрольно-надзорных полномочий отводится профилактическим мерам. Отметим, что переход на риск-ориентированный подход подразумевает в первую очередь профилактические мероприятия в рамках выявления существующих угроз и их устранения. Формирование системы профилактики и предупреждения нарушения обязательных требований является основной задачей реформирования контрольно-надзорной деятельности [9]. Статистические данные подтверждают данное утверждение. Так, при осуществлении дорожного надзора в 2023 году проведено 95 тыс. профилактических мероприятий, что почти в три раза больше показателя 2022 года.

В настоящее время органами прокуратуры внеплановые контрольно-надзорные мероприятия в области осуществления контроля за эксплуатационным состоянием автомобильных дорог и улиц практически не согласовываются, по основаниям отсутствия непосредственной угрозе причинения вреда жизни и тяжкого вреда здоровью граждан.

В указанных обстоятельствах у сотрудников дорожного надзора остается практически единственный инструмент воздействия на контролируемых юридических и должностных лиц в случае выявления нарушений законодательства - объявление контролируемому лицу предостережения о недопустимости нарушения обязательных требований [5]. Количество выдаваемых предостережений по линии дорожного надзора Госавтоинспекции в настоящее время составляет 74,9 % от общего числа проведенных профилактических мероприятий. Вид и количество профилактических мероприятий представлено на рисунке 2 [3].



*Рисунок 2 - Профилактические мероприятия, проведенные в рамках дорожного надзора в 2023 году*

## **Теория**

По нашему мнению предупреждение в качестве основного инструмента применяется ввиду наиболее простого способа его юридического оформления. Однако, предупреждение выносится по фактам уже выявленных нарушений обязательных требований. В этой связи считаем, что в целях совершенствования профилактики рисков и недопущения возникновения угроз в сфере безопасности дорожного движения необходимо увеличивать долю таких мероприятий как консультирование и проведение профилактического визита.

Так же отметим, что объявление предупреждения относится к профилактическим мероприятиям, и за невыполнение содержащихся в нем предложений отсутствует какая либо ответственность. В результате может возникнуть так называемый замкнутый круг – сотрудники дорожного надзора выявляют нарушения соблюдения обязательных требований, орга-

ны прокуратуры не согласуют проведение контрольных (надзорных) мероприятий, и ввиду этого отсутствует возможность привлечь контролируемое лицо к административной ответственности. Контролируемому лицу объявляется предостережение, но ввиду отсутствия ответственности, недобросовестный субъект дорожной деятельности может не принимать никаких мер по устранению выявленных нарушений.

Ввиду сложностей в согласовании КНМ во взаимодействии, сотрудники дорожного надзора применяют предостережение в качестве основного акта реагирования на выявление нарушений обязательных требований по ОБДД. При этом значительно снизилось количество возбужденных дел по делам об административных правонарушениях по линии дорожного надзора. В 2023 году проведено 96,5 тыс. контрольных (надзорных) мероприятий, что в полтора раза больше по сравнению с предшествующим годом. При этом выявлено 27 449 фактов нарушения обязательных требований. Вместе с тем, по линии дорожного надзора в отношении хозяйствующих субъектов и их должностных лиц в 2023 году возбуждено около 8 тыс. дел об административных правонарушениях, что меньше показателя предшествующего года в 3,5 раза. Дела об административных правонарушениях по результатам проведения КНМ возбуждались гораздо реже: в среднем по результатам каждого 110-го КНМ [3].

Считаем, что в данном случае имеет место формирование рисков дорожно-транспортной аварийности, так как отсутствие вероятности привлечения к ответственности может вызвать у недобросовестных субъектов дорожной деятельности желание оптимизировать расходы за счет снижения обеспечения безопасности дорожного движения.

В рамках решения указанного вопроса в ноябре 2023 года в постановление Правительства РФ № 1101 были внесены изменения, которые позволили сотрудникам дорожного надзора Госавтоинспекции проводить специальный вид КНМ – постоянный рейд.

Предложение о необходимости распространении режима постоянного рейда на контрольно-надзорную деятельность сотрудников Госавтоинспекции отмечались в ряде научных публикаций [4].

Указанный правовой режим не требует согласования с органами прокуратуры и как следствие, позволяет в полном объеме реализовывать полномочие по контролю (надзору) за соблюдением обязательных требований в области дорожного движения со стороны сотрудников подразделений дорожного надзора Госавтоинспекции.

Рассмотрим порядок проведения постоянного рейда сотрудниками дорожного надзора с учетом контрольно-надзорных действий: проведения инструментального обследования, осмотра дорог при их содержании.

Постоянный рейд осуществляется на конкретной территории, определенной приказом или распоряжением руководителя контрольно-надзорного органа. Этим же документом утверждается исчерпывающий перечень должностных лиц, уполномоченных на осуществление постоянного рейда, и сроки его проведения. Время нахождения на объекте при осуществлении рассматриваемых контрольно-надзорных действий не регламентируется.

В случае выявления нарушений обязательных требований возбуждается дело об административном правонарушении в рамках ч.3.1 ст. 28.1 КоАП РФ. Вместе с тем сам факт возбуждения дела об административном правонарушении и привлечении виновных должностных или юридических лиц к ответственности не всегда обеспечивает устранение хозяйствующими субъектами выявленных нарушений. С целью устранения угроз безопасности дорожного движения рекомендуется в рассмотренном случае параллельно с возбуждением дела об административном правонарушении выдавать предписание об устранении выявленных недостатков.

При выдаче предписания необходимо в обязательном порядке указывать сроки устранения дефектов по ГОСТ Р 50597-2017. В случае отсутствия сроков устранения дефектов в ГОСТ Р 50597-2017, срок устанавливается не более одного месяца. По окончании установленных сроков осуществляется контроль за устранением обозначенных в предписании недостатков. Если они не устранены, в отношении лица, которому было вынесено предписание,

составляется протокол об административном правонарушении по ч. 27 ст. 19.5 КоАП РФ, выносится повторное предписание.

### ***Результаты и обсуждение***

Отметим, что выявленные в ходе постоянного рейда нарушения обязательных требований должны фиксироваться в установленной форме для каждого конкретного контрольно-надзорного действия. Наиболее распространенное из них – инструментальное обследование. Результаты инструментального обследования оформляются протоколом инструментального обследования, форма которого утверждена приказом МВД РФ от 1 августа 2022 г. № 570. Инструментальное обследование проводится с учетом методики, утвержденной п. 9 ГОСТ Р 50297-2017 г. В соответствии с ним контроль характеристик эксплуатационного состояния дорог и улиц, допустимых по условиям обеспечения безопасности дорожного движения, осуществляют приборами, включенными в Государственный реестр средств измерения и прошедшими поверку в установленном порядке. В протокол инструментального обследования в обязательном порядке вносятся применяемые при данном контролльном действии методы.

Анализ работы сотрудников дорожного надзора указывает на отсутствие общего понимания процесса составления необходимого документа. Часто можно обнаружить недостатки на дорогах и улицах визуально, без необходимости проведения специализированных измерений. Однако эти недостатки зачастую сочетаются с теми, которые требуют использования для выявления специализированного оборудования. Возникают вопросы относительно правильно-го заполнения протокола инструментального обследования и внесения в него необходимых данных. Также отмечается включение в протоколы информации о специализированных приборах, которые не применялись во время конкретного контрольно-надзорного действия. Некоторые сотрудники дорожного надзора добавляют в протокол обследования всё имеющееся на вооружении оборудование, несмотря на то, что оно не использовалось в данном случае.

### ***Выводы***

Реализация контрольно-надзорных полномочий сотрудниками дорожного надзора в рамках постоянного рейда не должна подменять собой проведение иных контрольно-надзорных мероприятий (в первую очередь документарных и выездных проверок во взаимодействии с контролируемыми лицами). Так, инструментальное обследование, осмотр дорог при их содержании при проведении постоянного рейда позволяет выявить нарушения обязательных требований на конкретном участке улично-дорожной сети. Вместе с тем, проведение внеплановой проверки (документарной или выездной) хозяйствующего субъекта – это более комплексное мероприятие, позволяющее полноценно оценить эффективность деятельности по обеспечению безопасности дорожного движения. Таким образом, сотрудникам дорожного надзора рекомендуется в случае систематического выявления нарушения обязательных требований при проведении КНМ без взаимодействия с контролируемым лицом а равно в режиме постоянного рейда инициировать проведение проверок субъектов дорожной деятельности (с учетом согласования с органами прокуратуры).

В рамках совершенствования контрольно-надзорной деятельности подразделений дорожного надзора Госавтоинспекции необходима разработка единых методических рекомендаций составления документов в рамках осуществления государственного контроля (надзора). Указанное предложение будет способствовать повышению качества документирования нарушения обязательных требований в контексте прогнозируемого увеличения проводимых контрольно-надзорных действий в рамках постоянного рейда.

Подводя итоги, подчеркнем, что рассмотренный нами порядок федерального государственного контроля (надзора) со стороны сотрудников подразделений Госавтоинспекции претерпел существенные изменения в результате административной реформы. Принятие ФЗ 248 и сопутствующих ему нормативных документов обусловило изменение концептуальных подходов к осуществлению рассматриваемой нами деятельности. Основной целью реформы выступило повышение уровня безопасности и устранение избыточной административной нагрузки на субъекты предпринимательской деятельности [6]. Вместе с тем, проведенные изменения вызвали формирование определенных проблем в деятельности подразделений до-

рожного надзора Госавтоинспекции. С целью их преодоления и с учетом необходимости снижения дорожно-транспортной аварийности и достижения ключевых показателей обеспечения безопасности дорожного движения, обозначенных в Стратегии обеспечения безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018 – 2024 годы, сотрудникам подразделений дорожного надзора рекомендуется реализовывать контрольно-надзорные полномочия с учетом риск-ориентированного подхода, сочетая профилактические мероприятия с комплексным воздействием на хозяйствующие субъекты.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов Сергей Николаевич Проблемы правового регулирования федерального государственного надзора в области безопасности дорожного движения [Электронный ресурс] / Вестник Университета имени О.Е. Кутафина. 2018. №1(41). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-pravovogo-regulirovaniya-federalnogo-gosudarstvennogo-nadzora-v-oblasti-bezopasnosti-dorozhnogo-dvizheniya>.
2. Баканов К.С., Ляхов П.В. Айсанов А.С. и д.р. Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации в 2023 году. Информационно-аналитический обзор. М.: ФКУ «НЦ БДД МВД России», 2024. 154 с.
3. Баканов К.С., Ляхов П.В., Исаев М.М. и др. Правоприменительная деятельность в области безопасности дорожного движения в 2023 году: Информационно-аналитический обзор. М.: ФКУ «НЦ БДД МВД России», 2024. 120 с.
4. Баканов К.С., Антонов С.Н., Исаев М.М. Реформа законодательства о контроле (надзоре) в области безопасности дорожного движения в части дорожного надзора // Безопасность дорожного движения. 2023. №1(28). С. 40-51. EDN IIRFIJ.
5. Бирюкова С.Е., Сабинин А.А. Некоторые аспекты деятельности подразделений дорожного надзора Госавтоинспекции МВД России в контексте проводимой административно-правовой реформы // Актуальные вопросы административно-правовой деятельности органов внутренних дел: Сборник статей профессорско-преподавательского состава, курсантов и слушателей. Орел: Орловский юридический институт Министерства внутренних дел Российской Федерации имени В.В. Лукьянова. 2023. С. 27-30. EDN SLJEFZ.
6. Былинин И.А. Контроль (надзор) за безопасностью дорожного движения в парадигме проводимой административной реформы [Электронный ресурс] / NB: Административное право и практика администрирования. 2022. №2. С. 26-37. DOI: 10.7256/2306-9945.2022.2.37813. URL: <https://nbpublish.com/library/read/article.php?id=37813>.
7. Горяинов А.И. Некоторые вопросы совершенствования нормативно-правовой основы федерального государственного контроля (надзора) в области безопасности дорожного движения // Безопасность дорожного движения. 2023. №1(28). С. 33-39. EDN HXUSYA.
8. Зырянов, С. М. Государственный контроль (надзор) в сфере дорожного движения в новой регуляторной политике // Безопасность дорожного движения. 2023. №1(28). С. 28-32. EDN VLJAQU.
9. Лозинский О.И. Правовой режим надзорной деятельности в сфере безопасности дорожного движения в условиях риск-ориентированного подхода [Электронный ресурс] / Юридическая техника. 2019. №13. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pravovoy-rezhim-nadzornoy-deyatelnosti-v-sfere-bezopasnosti-dorozhnogo-dvizheniya-v-usloviiyah-risk-orientirovannogo-podkhoda>.
10. Майоров В.И. Модернизация системы государственного контроля и надзора в современной России [Электронный ресурс] / Вестник ННГУ. 2016. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modernizatsiya-sistemy-gosudarstvennogo-kontrolya-i-nadzora-v-sovremennoy-rossii>.
11. Майоров В.И., Понежина Л.Ю. О роли дорожного надзора Госавтоинспекции в обеспечения безопасности дорожного движения [Электронный ресурс] / ЮП. 2021. №4 (99). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-roli-dorozhnogo-nadzora-gosavtoinspeksii-v-obespechenii-bezopasnosti-dorozhnogo-dvizheniya>.
12. Послание Президента Федеральному Собранию [Электронный ресурс] / Официальные сетевые ресурсы Президента России. URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/transcripts/messages/73585>.
13. Радчишина В.В. Проблемные вопросы при осуществлении государственного контроля (надзора) в области безопасности дорожного движения [Электронный ресурс] / International Journal of Humanities and Natural Sciences. Vol. 8-1 (83). 2023. DOI:10.24412/2500-1000-2023-8-1-72-75. URL: <http://intjournal.ru/wp-content/uploads/2023/09/Radchishina.pdf>.
14. Расширенное заседание коллегии МВД [Электронный ресурс] / Официальные сетевые ресурсы Президента России. URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/73770>.
15. Хаметдинова Г.Ф., Иванова С.И. Дорожный надзор Госавтоинспекции в свете реформы контрольно-надзорной деятельности [Электронный ресурс] / Право и управление. 2022. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dorozhnyy-nadzor-gosavtoinspeksii-v-svete-reformy-kontrolno-nadzornoy-deyatelnost>.

**Сабинин Андрей Андреевич**

Орловский юридический институт МВД России имени В.В. Лукьянова

Адрес: 302027, Россия, г. Орел, ул. Игнатова, д. 2

Старший преподаватель организации деятельности ГИБДД

E-mail: \_saab\_@mail.ru

## SOME ASPECTS OF THE IMPLEMENTATION OF FEDERAL STATE CONTROL (SUPERVISION) BY EMPLOYEES OF TRAFFIC SUPERVISION UNITS OF THE STATE TRAFFIC INSPECTORATE IN ORDER TO ENSURE ROAD SAFETY

**Abstract.** This article discusses the procedure for the implementation of control and supervisory powers by employees of traffic supervision units of the State Traffic Inspectorate in the framework of the implementation of road safety. Taking into account the ongoing administrative and legal reform in the country, the key changes in these activities, problematic aspects arising in the process of monitoring and supervising compliance with mandatory requirements in the field of road safety are identified. Proposals have been formulated to improve the activities of the traffic supervision units of the State Traffic Inspectorate.

**Keywords:** traffic supervision, State Traffic Inspectorate, state control, risk prevention, constant raid, road safety

### BIBLIOGRAPHY

1. Antonov Sergey Nikolaevich Problemy pravovogo regulirovaniya federal'nogo gosudarstvennogo nadzora v oblasti bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya [Elektronnyy resurs] / Vestnik Universiteta imeni O.E. Kutafina. 2018. №1(41). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-pravovogo-regulirovaniya-federalnogo-gosudarstvennogo-nadzora-v-oblasti-bezopasnosti-dorozhnogo-dvizheniya>.
2. Bakanov K.S., Lyakhov P.V., Aysanov A.S. i d.r. Dorozhno-transportnaya avariynost` v Rossiyiskoy Federatsii v 2023 godu. Informatsionno-analiticheskiy obzor. M.: FKU «NTS BDD MVD Rossii», 2024. 154 s.
3. Bakanov K.S., Lvakhov P.V., Isaev M.M. i dr. Pravoprimeritel`naya deyatel`nost` v oblasti bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v 2023 godu: Informatsionno-analiticheskiy obzor. M.: FKU «NTS BDD MVD Rossii», 2024. 120 s.
4. Bakanov K.S., Antonov S.N., Isaev M.M. Reforma zakonodatel`stva o kontrole (nadzore) v oblasti bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v chasti dorozhnogo nadzora // Bezopasnost` dorozhnogo dvizheniya. 2023. №1(28). S. 40-51. EDN IIRFIJ.
5. Biryukova S.E., Sabinin A.A. Nekotorye aspekty deyatel`nosti podrazdeleniy dorozhnogo nadzora Gosavtoinspeksii MVD Rossii v kontekste provodimoy administrativno-pravovoy reformy // Aktual`nye voprosy administrativno-pravovoy deyatel`nosti organov vnutrennikh del: Sbornik statey professorskogo-prepodavatel`skogo sostava, kursantov i slushateley. Orel: Orlovskiy yuridicheskiy institut Ministerstva vnutrennikh del Rossiyiskoy Federatsii imeni V.V. Luk`yanova. 2023. S. 27-30. EDN SLJEFZ.
6. Bylinin I.A. Kontrol` (nadzor) za bezopasnost`yu dorozhnogo dvizheniya v paradigme provodimoy administrativnoy reformy [Elektronnyy resurs] / NB: Administrativnoye pravo i praktika administrovaniya. 2022. №2. S. 26-37. DOI: 10.7256/2306-9945.2022.2.37813. URL: <https://nbpublish.com/library/read/article.php?id=37813>.
7. Goryainov A.I. Nekotorye voprosy sovershenstvovaniya normativno-pravovov osnovy federal'nogo gosudarstvennogo kontrol`ya (nadzora) v oblasti bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya // Bezopasnost` dorozhnogo dvizheniya. 2023. №1(28). S. 33-39. EDN HXUSYA.
8. Zyryanov, S. M. Gosudarstvennyy kontrol` (nadzor) v sfere dorozhnogo dvizheniya v novoy regulatory-tornoj politike // Bezopasnost` dorozhnogo dvizheniya. 2023. №1(28). S. 28-32. EDN VLJAQU.
9. Lozinskiy O.I. Pravovoy rezhim nadzornoy deyatel`nosti v sfere bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v usloviyakh risk-orientirovannogo podkhoda [Elektronnyy resurs] / YUridicheskaya tekhnika. 2019. №13. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pravovoy-rezhim-nadzornoy-deyatelnosti-v-sfere-bezopasnosti-dorozhnogo-dvizheniya-v-usloviyah-risk-orientirovannogo-podkhoda>.
10. Mayorov V.I. Modernizatsiya sistemy gosudarstvennogo kontrol`ya i nadzora v sovremennoy Rossii [Elektronnyy resurs] / Vestnik NNGU. 2016. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modernizatsiya-sistemy-gosudarstvennogo-kontrol`ya-i-nadzora-v-sovremennoy-rossii>.
11. Mayorov V.I., Ponezhina L.YU. O roli dorozhnogo nadzora Gosavtoinspeksii v obespecheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya [Elektronnyy resurs] / YUP. 2021. №4 (99). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-roli-dorozhnogo-nadzora-gosavtoinspeksii-v-obespechenii-bezopasnosti-dorozhnogo-dvizheniya>.
12. Poslanie Prezidenta Federal`nomu Sobraniju [Elektronnyy resurs] / Ofitsial`nye setevye resursy Prezidenta Rossii. URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/transcripts/messages/73585>.
13. Radchishina V.V. Problemye voprosy pri osushchestvlenii gosudarstvennogo kontrol`ya (nadzora) v oblasti bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya [Elektronnyy resurs] / International Journal of Humanities and Natural Sciences. Vol. 8-1 (83). 2023. DOI:10.24412/2500-1000-2023-8-1-72-75. URL: <http://intjournal.ru/wp-content/uploads/2023/09/Radchishina.pdf>.
14. Rasshirennoe zasedanie kollegii MVD [Elektronnyy resurs] / Ofitsial`nye setevye resursy Prezidenta Rossii. URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/73770>.
15. Hametdinova G.F., Ivanova S.I. Dorozhnyy nadzor Gosavtoinspeksii v svete reformy kontrol`no-nadzornoy deyatel`nosti [Elektronnyy resurs] / Pravo i upravlenie. 2022. №5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dorozhnyy-nadzor-gosavtoinspeksii-v-svete-reformy-kontrolno-nadzornoy-deyatelnosti>.

**Sabinin Andrey Andreevich**

Oryol Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia

Address: 302027, Russia, Orel, Ignatova str., 2

Senior lecturer in the organization of traffic police activities, E-mail: \_saab\_@mail.ru

**УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ПЕРЕВОЗОК**

УДК 351.811.12

doi:10.33979/2073-7432-2025-1-3(88)-10-17

С.А. ЖБАНОВА

**АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОРГАНИЗАЦИИ И  
ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА  
СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ**

*Аннотация.* Автором проводится анализ формирования системы приоритетных мероприятий по повышению безопасности дорожного движения на основе программно-целевого подхода по сокращению дорожно-транспортных происшествий и снижению ущерба от них на федеральном, региональном и местном уровне. Ретроспективный анализ исследований и статистических показателей по изучаемой проблематике позволило сделать вывод о непрерывности общественного развития, технологических достижений, которые не могут не отражаться на состоянии дорожного движения во всем мире.

**Ключевые слова:** безопасность дорожного движения, дорожно-транспортное происшествие, программно-целевой подход, стратегия, Госавтоинспекция, системный подход

**Введение**

Обеспечение безопасности дорожного движения (далее-ОБДД) является приоритетной задачей внутренней политики Российской Федерации, так как дорожно-транспортные происшествия (далее-ДТП) представляют угрозу жизни и здоровью граждан, что оказывается не только на демографических показателях страны, но и несет негативные социально-экономические последствия. Организация и ОБДД играют важную роль в современном обществе. В свете постоянно растущего числа автотранспорта и увеличения числа ДТП важно анализировать основные мероприятия в данной сфере.

Признание мировым сообществом глобального масштаба проблемы дорожной безопасности требует принятия комплексного подхода к обеспечению безопасности на дорогах. Этот подход включает в себя концепцию «нулевой смертности» на дорогах и расширение международного сотрудничества для решения этой проблемы [1]. Одной из целей, включенных в комплекс мероприятий демографической политики нашей страны, является снижение числа смертей от дорожно-транспортных происшествий. Для достижения этой цели предусмотрены следующие меры: улучшение соблюдения правил дорожного движения участниками, улучшение организации дорожного движения и качества дорожной инфраструктуры, а также своевременная помощь пострадавшим в авариях [2].

**Материал и методы**

Изучение научных статей, исследований, книг и других публикаций, связанных с безопасностью дорожного движения. Анализ статистических данных о дорожных происшествиях, погибших и пострадавших, причинах аварий и других связанных факторах. Изучение действующего законодательства, связанного с безопасностью дорожного движения. Сравнение мероприятий и практик по обеспечению безопасности дорожного движения в различных странах или регионах.

Число ДТП на сегодняшний день остается внушительным, несмотря на большое количество мероприятий, направленных на их сокращение. Об этом свидетельствуют статистические показатели за 2023 год, Впервые за последние 10 лет на территории Российской Федерации произошел рост основных показателей ДТП [3]. Количество дорожно-транспортных

происшествий, в которых погибли и (или) были ранены люди увеличилось на 4,5 % (132 466), число погибших в них – на 2,3 % (14 504), раненых – на 4,3 % (166 500). По прежнему каждое 11 ДТП (12 265) приводило к смертельному исходу.

### ***Теория / Расчет***

Программно-целевой подход – это один из вариантов решения трудных и значимых социально-экономических проблем, осуществляющийся с помощью формирования и утверждения управлеченческими органами системы взаимообусловленных программных мероприятий, призванных устранить, предотвратить и смягчить возникшие сложности. В области БДД указаны комплекс мероприятий способствует значительному уменьшению показателя аварийности. Начиная с 1996 года в России непрерывно практикуется принятие федеральных целевых программ, которые демонстрируют свою эффективность и обоснованность. Это можно наблюдать на основе статистических данных, однако количество пострадавших в дорожно-транспортных происшествиях все равно остается высоким, поэтому подобные целевые программы продолжают разрабатываться и функционировать в российской действительности.

### ***Результаты***

В целом, анализ основных мероприятий по ОБДД на современном этапе показывает, что успешное решение этой проблемы требует комплексного подхода, включающего технические, информационные и организационные меры. Современные технологии, образовательные программы и стандарты безопасности играют важную роль в улучшении ситуации на дорогах. Программно-целевой подход в обеспечении дорожного движения играет важную роль в повышении эффективности мероприятий по ОБДД на дорогах. Этот подход предполагает установление конкретных целей, разработку программ и мероприятий для их достижения, а также систематический мониторинг и оценку результатов. В контексте обеспечения БДД программно-целевой подход может быть использован для:

1) установления конкретных целей безопасности: Например, снижение количества ДТП на определенном участке дороги или улучшение показателей безопасности для пешеходов и велосипедистов;

2) разработки комплексных программ: на основе поставленных целей разрабатываются комплексные программы, включающие в себя технические мероприятия, образовательные кампании, информационные мероприятия и другие действия;

3) мониторинга и оценки результатов: последующий мониторинг и оценка достигнутых результатов позволяют оценить эффективность принятых мер и внести корректировки в программы для достижения поставленных целей;

4) адаптации к изменяющимся условиям: программно-целевой подход также предполагает гибкость и способность адаптироваться к изменяющимся условиям на дорогах, что позволяет эффективно реагировать на новые вызовы и угрозы безопасности.

### ***Обсуждение***

В.И. Майоров отождествляет понятие программно-целевого подхода с программно-целевым методом и дает ему следующее определение: это один из вариантов решения трудных и значимых социально-экономических проблем, осуществляющийся с помощью формирования и утверждения управлеченческими органами системы взаимообусловленных программных мероприятий, призванных устраниТЬ, предотвратить и смягчить возникшие сложности [4].

Программно-целевой подход позволяет комплексно подойти к решению проблемы БДД, потому что в его рамках утверждается определенная цель работы соответствующих ведомств, государственных органов, учреждений и т.д., соизмеряется имеющееся и необходимое количество ресурсов для реализации поставленных задач, обеспечивается их согласованное использование, ведется контроль за исполнением.

Вопрос транспортной безопасности поднимали на Генеральной Ассамблее Организации Объединенных наций в сентябре 2015 г., где были приняты различные документы, содержащие программы по снижению дорожно-транспортного травматизма вплоть до 2030 г., предусматривающие уменьшение количества пострадавших на дорогах [5].

Принцип программно-целевого подхода в обеспечении БДД закреплён в Федеральном законе № 196 «О безопасности дорожного движения» [6]. Также в статье 10 этого же нормативно-правового акта констатируется:

1) для осуществления государственно-властных решений в сфере БДД целесообразной является разработка и утверждение федеральных, региональных и местных программ, они служат средством снижения уровня дорожно-транспортных происшествий и устранения их негативных последствий (жизнь и здоровье граждан, административно-экономические потери, некоторыми исследователями отмечается, что ВВП каждой страны из-за аварий теряет хотя бы 1%);

2) требования к федеральным, региональным и местным программам определяет Правительство России;

3) программы федерального, регионального и местного уровня, касающиеся обеспечения БДД финансируются за счет средств соответствующих бюджетов [6].

Впервые исследование проблемы комплексного подхода по обеспечению безопасности дорожного движения было начато в 1960-х - 1970-х годах в Японии и некоторых западных странах, так как в это время происходило массовое увеличение числа водителей и автомобилей, транспортный трафик иногда не поддавался контролю, что вызывало большое количество аварий. Управленческие структуры этих государств пытались выработать перечень мер, способствующих улучшению ситуации в заданной области, использовались инновации, в сфере ОБДД интегрировались научные достижения, включающие юридические, социологические, психологические и другие разработки, результаты работы оценивались и на их основе составлялись уже следующие целевые программы, с новыми задачами и инструментами реализации. По мнению В.Е. Севрюгина и В.И. Майорова, из-за того, что Россия в ретроспективе позже начала осваивать программно-целевой метод, она значительно отстает от многих зарубежных акторов, таких как США, Австралия, страны Евросоюза и другие [7]. С данной точкой зрения можно согласиться лишь отчасти, так как сравнение показателей аварийности в России и других стран сопоставлять некорректно, необходимо учитывать демографические, территориальные особенности Российской Федерации, специфику организации дорожного движения и правил, обеспечивающих ее безопасность.

Первая федерально-целевая программа вступила в силу 7 июня 1996 года, она носила название «Повышение безопасности дорожного движения в России» и охватывала период с 1996 года по 1998 год [8], как и все последующие была утверждена постановлением Правительства Российской Федерации. Ее результаты и специфика более подробно будут раскрыты во второй главе данного исследования, однако можно констатировать, что принятие второй целевой программы продемонстрировало эффективность комплексных мер по обеспечению безопасности дорожного движения.

Вторая федеральная целевая программа под названием «Повышение безопасности дорожного движения 2001-2010 гг.» затрагивала уже более продолжительный период, чем предыдущая, далее третья федеральная целевая программа «Повышение безопасности дорожного движения в 2006-2012 годах» была утверждена до конца второй в связи с необходимостью учета актуальных проблем, изменений информационно-технологического характера, произошедших за 5 лет [9].

Четвертая федеральная программа как элемент реализации программно-целевого подхода была утверждена постановлением Правительства РФ от 3 октября 2013 года, являлась основой для определения мер по сокращению аварийности с 2013 года и завершилась в 2020 году [10].

На сегодняшний день действует Стратегия безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018-2024 годы и Транспортная стратегия, окончание которой датируется на конец 2030 года. Большое количество исследователей выступает за необходимость принятия новой федеральной целевой программы, потому что в отличие от стратегии, принимающейся на более долгосрочный период и носящей в некоторых аспектах основополага-

ющий характер (выявляется общая цель и задачи, основные мероприятия), программа имеет под собой больше прикладных положений и может подробно раскрыть уже имеющиеся стратегии (конкретные мероприятия, выступает как основа для текущего планирования). В то же время ряд ученых в различных областях считают, что в новой федеральной программе нет необходимости, так как увеличение числа нормативных документов только создаст сложности в процессе реализации, возникнет вопрос на сколько они взаимообусловлены.

Помимо вышеперечисленных программных документов, разрабатываются программенно-целевые мероприятия для отдельных регионов и муниципальных образований. Данный факт можно охарактеризовать как достаточно прогрессивный, в каждом субъекте имеются свои проблемные точки, касающиеся безопасности дорожного движения, различается и уровень аварийности. Некоторые факторы могут зависеть от психологии жителей, территориального расположения (географические, климатические, рельефные особенности), работы конкретных органов и подразделений, основной функцией которых является реализации программных положений, обеспечение безопасности на дорогах.

Из плюсов федеральных целевых программ следует отметить:

- 1) координация всех органов;
- 2) активное использование средств массовой информации;
- 3) деятельность Госавтоинспекции по пропаганде БДД;
- 4) высокие требования к знаниям водителей, что отражается при их обучении, серьезный подход к организации техосмотра и т.д.;
- 5) обеспечение безопасности автомобильных дорог, условий для безопасного передвижения пешеходов (наличие пешеходных переходов, светофоров, особенно вблизи школ и детских садов, на опасных участках), своевременное осуществление ремонтных работ.

Повышение безопасности дорожного движения – не простая задача и ее реализация не так легка, как может показаться. Ведь данная деятельность – это целая система, которая включает в себя работу большого числа специалистов, организаций, учреждений и предприятий в сфере БДД, которые осуществляют свою деятельность посредством накопленных знаний, опыта. Система по обеспечению БДД – это структурированный механизм, который включает в себя большой набор элементов, регламентированный множеством нормативно-правовых актов, в реализацию которого вложены правовые, финансовые, технические ресурсы.

В своем исследовании П.Н. Шевченко отмечает, что изучая отечественный опыт работы в данной области, мы сможем повысить уровень системы безопасности дорожного движения, действующей в наше время [11].

На каждом этапе выделяя суть проделанной работы, следует отметить, что она менялась с началом нового этапа, направление работы обуславливается проблемами, возникающими в определенной области, сущностью и спецификой работы подразделений по ОБДД. На каждом этапе развития системы возникали новые службы и подразделения, которые осуществляли свою деятельность в областях, которые возникали с развитием новых технологий.

Изучив этапы развития отечественных систем безопасности дорожного движения, следует сказать, что при совместном усилии гражданского общества и государства на федеральном, региональном и местном уровнях власть обеспечивается создание эффективной системы безопасности дорожного движения, а главным аспектом является системный подход в решении проблем, возникающих на этапах развития системы и государства в целом.

Благодаря системному подходу в решении возникающих проблем возникают определенные мероприятия в области ОБДД, которые повышают уровень безопасности дорожного движения. Как отмечалось ранее, на каждом этапе развития системы безопасности дорожного движения появлялись новые мероприятия, направленные на решение, стоящих на данном этапе проблем в конкретной области дорожного движения.

В своем исследовании В.И. Майоров отмечает, что программно-целевой метод способствует выработыванию и принятию органами управления систем взаимосвязанных мероприятий, которые направлены на устранение и подавление сложных социально-экономических проблем в данной области [5]. Так же отмечается, что при использовании

программно-целевого метода: соотносятся имеющиеся ресурсы с наиболее актуальными целями развития; дается точная координация действий подразделений для достижения поставленных целей, а также обеспечивается более полное контролирование за выполнением управлеченческих решений.

Данные программы и методы направлены на сокращение количества ДТП и их последствий, формирования у участников дорожного движения представлений относительно ориентиров состояния обеспечения безопасности дорожного движения.

В 2018 году распоряжением правительства Российской Федерации утверждена Стратегия безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018-2024 годы, которая определит основу для формирования государственной политики в области безопасности дорожного движения на федеральном, региональном и местном уровне.

Предшествующие федерально-целевые программы выделяли основные направления реализации государственной политики в области безопасности дорожного движения, актуальные и на сегодняшний день.

Данная Стратегия формирует актуальные на сегодняшний день системы приоритетных мероприятий по повышению безопасности дорожного движения, основываясь на отечественном опыте федеральных программ целевого подхода по сокращению дорожно-транспортных происшествий прошлых лет. Она включает в себя систему мероприятий всех направлений государственной политики, по обеспечению безопасности дорожного движения, начиная с изменения поведения участников дорожного движения, заканчивая совершенствованием улично-дорожной сети, снижением детского травматизма на дорогах и использованием современных технологий в деятельности по обеспечению безопасности дорожного движения.

Данная Стратегия включает в себя анализ программ прошлых лет, состояния безопасности дорожного движения в Российской Федерации за прошлые годы, методы и мероприятия направленные на устранения проблем ОБДД с которыми встречались ранее, тем самым формируя систему безопасности дорожного движения на последующие годы.

Идея создания целевых комплексных программ в сфере безопасности дорожного движения зарождалась в странах с высоким уровнем автомобилизации. В данных странах пик аварийности наблюдался в 60-70 годах 20 века, но уже в 70-80 годах можно было увидеть снижение показателей аварийности.

В США 1960-х годах наблюдался существенный скачек показателей аварийности, это было обусловлено количеством автомобильного транспорта на дорогах. Показатели аварийности были следующие: погибших в результате дорожно-транспортных происшествий насчитывалось 51 тыс. человек, показатель увеличился на 40%. С каждым годом данный показатель увеличивался в неблагоприятную сторону.

В связи с этим была разработана национальная программа в области безопасности дорожного движения, главной задачей которой было сокращение количества дорожно-транспортных происшествий с летальным исходом. В 1966 году был принят закон «О безопасности движения», который определял структуру органов управления в данной сфере деятельности. Создан блок программ по обеспечению безопасности дорожного движения по разным направлениям деятельность в сфере дорожного движения.

Для оценки эффективности проводимой работы было осуществлено национальное исследование по эффективности проводимых мероприятий. По результатам исследования программы успешно справлялись с поставленными задачами и показатели аварийности значительно снизились. Это показывает, что оценка эффективности деятельности государственных органов имеет большое значение для общего понимания проблемы безопасности дорожного движения и способов борьбы с ними.

Применение программно-целевого метода в США позволило добиться сокращения количества ДТП с летальным исходом и повысить общую безопасность на автомобильных дорогах, только в совокупности с реализацией эффективных мероприятий, которые обеспе-

чили достижение конечных результатов деятельности. Цифровые технологии играют важную роль в различных сферах социальной действительности. Современные государства активно осуществляют национальную политику, направленную на внедрение цифровых технологий в различные общественные сферы [12].

Следует согласиться с Д.В. Пожарским, который исследует смысл понятий эпохи цифровизации, таких как «цифровое правосудие» и «электронное государство». Он отмечает, что эти понятия во многом метафоричны и могут быть использованы в юридической науке и законодательстве в широком смысле, отражая постепенное внедрение новых методов и технологий анализа, обработки и передачи информации в законодательную и социальную практику [13]. Для обеспечения безопасности на дорогах наше государство проводит ряд мероприятий, которые направлены на снижение рисков и угроз. Основная цель этих мероприятий заключается в обеспечении безопасности всех участников дорожного движения. Кроме того, принимаются дополнительные меры для эффективного управления этими общественными отношениями [14].

Понятие безопасности относится ко многим сферам жизнедеятельности. Значимыми аспектами обеспечения безопасности населения являются предупреждение и профилактика травматизма. Понятие «травматизм» рассматривается как совокупность травм, полученных группой населения при нахождении в одинаковых условиях труда и быта [15].

Современные инновационные технологии в области дорожного движения имеют огромное значение для повышения безопасности на дорогах, оптимизации транспортной инфраструктуры и улучшения общего качества жизни. С появлением новых технологий дорожное движение становится более эффективным, экологически чистым и удобным для пользователей. Одной из ключевых инноваций в области дорожного движения является автоматизированное управление транспортом. Автономные и полуавтономные автомобили, оснащенные сенсорами и искусственным интеллектом, способны самостоятельно принимать решения на дороге, что снижает вероятность дорожно-транспортных происшествий. Такие технологии также способствуют оптимизации потока движения, уменьшению пробок и сокращению времени в пути. Другой важной инновацией является система умного города, которая объединяет различные технологии для улучшения дорожной инфраструктуры. Это включает в себя системы мониторинга и управления транспортом, интеллектуальное освещение, сенсорные датчики для контроля состояния дорог и многое другое. Благодаря таким решениям города становятся более безопасными и удобными для жителей. Также стоит отметить использование новейших технологий в области связи и информационных технологий для улучшения взаимодействия между участниками дорожного движения. Мобильные приложения, интернет-платформы и системы онлайн-навигации помогают водителям выбирать оптимальный маршрут, получать актуальную информацию о дорожной обстановке и обеспечивать комфортное передвижение.

### **Выводы**

Анализируя состояние аварийности в мире можно сделать вывод о том, что все страны, которые добились значительных результатов в сокращении аварийности, используют программно-целевой подход по управлению безопасности дорожного движения. Важным мероприятием по обеспечению безопасности дорожного движения является улучшение инфраструктуры дорог. Ремонт и модернизация дорог, установка дорожных знаков, обустройство пешеходных переходов и создание комфортных условий для пешеходов способствуют снижению риска возникновения аварий. Одной из основных мер, направленных на обеспечение безопасности дорожного движения, является разработка и внедрение современных технических средств контроля за соблюдением правил дорожного движения. К ним относятся камеры видеонаблюдения, радары контроля скорости, системы распознавания номерных знаков и другие. Эти технологии позволяют эффективно контролировать соблюдение правил дорожного движения и наказывать нарушителей.

Таким образом, ретроспективный анализ исследований и статистических показателей по изучаемой проблематике позволяет сделать вывод о непрерывности общественного раз-

вития, технологических достижений, которые не могут не отражаться на состоянии дорожного движения во всем мире. Нововведения в технической сфере требуют соответствующей регламентации в нормативно-правовых актах, адаптации к имеющимся правилам дорожного движения и способам его организации. Более того, с каждым годом увеличивается количество транспортных средств (глобализационные процессы затрагивают рынок автотранспорта, внешнеэкономические отношения между странами активны и тенденции на уменьшение торговых сделок не прогнозируется), все вышеперечисленные факторы в совокупности констатируют необходимость повышения требований к обеспечению безопасности дорожного движения. Изучение зарубежного опыта представляет важность не только в концептуальном и научном аспекте, но и в практическом, понимание истоков деятельности по снижению показателей аварийности способствует более эффективной работе в уже современных условиях. Разумеется, применение в Российской Федерации комплекса мер и программно-целевых принципов других государств без адаптации к нашим реалиям нецелесообразно, так как в Российской Федерации свои особенности дорожного движения, однако можно выявить отдельные мероприятия, помогающие улучшить результаты реализации действующих федеральных целевых программ (возможно, некоторые положения отразятся в будущих программах или стратегиях).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Майоров В.И. Обеспечение безопасности дорожного движения как глобальная проблема современности//Административное право и процесс. 2022. №6.
2. Российская Федерация. Президент. Об утверждении Концепции демографической политики Российской Федерации на период до 2025 года: Указ Президента РФ от 9 октября 2007 г. №1351 (последняя редакция) // СЗ РФ. 2007. №42. Ст. 5009, 2014. №27. Ст. 3754.
3. Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации в 2023 году. Информационно-аналитический обзор. М.: ФКУ «НЦ БДД МВД России», 2024. 154 с.
4. Майоров В.И. Новая федеральная целевая программа повышения безопасности дорожного движения: целесообразность разработки // Юридическая наука и правоохранительная практика. 2021. №3 (57).
5. Тузов А.И. Значение Стратегии Безопасности Дорожного Движения в снижении дорожно-транспортного травматизма // Административно-правовое регулирование правоохранительной деятельности: теория и практика: сб. ст. VII Всерос. науч.-практ. конф. Краснодар. 2018. С. 155-159.
6. Российская Федерация. Законы. О безопасности дорожного движения: Федеральный закон от 10.12.1995 № 196-ФЗ (последняя редакция) 10 декабря 1995 года №196-ФЗ.
7. Майоров В.Е. Севрюгин Зарубежный опыт разработки целевых комплексных программ по обеспечению безопасности участников дорожного движения // Всероссийский криминологический журнал. 2015. №4.
8. Российская Федерация. Правительство. Повышение безопасности дорожного движения в России на 1996-1998 годы: Постановление Правительства РФ от 7 июня 1996 г. №653.
9. Российская Федерация. Правительство. О федеральной целевой программе Повышение безопасности дорожного движения в 2006 - 2012 годах: Постановление Правительства РФ от 20 февраля 2006 г. №100.
10. Российская Федерация. Правительство. О федеральной целевой программе Повышение безопасности дорожного движения в 2013-2020 годах: Постановление Правительства РФ от 3 октября 2013 г. № 864.
11. Шевченко П.Н. Этапы развития системы безопасности дорожного движения в российском государстве // Вестник Московского университета МВД России. 2013. №11.
12. Калюжный Ю.Н. Цифровые технологии как новые возможности обеспечения безопасности дорожного движения // Административное право и процесс. 2021. №11.
13. Пожарский Д.В. Искусственный интеллект и человеческий разум в государственно-правовой реальности // Труды Академии управления МВД России. 2020. №1(53). С. 8-15.
14. Калюжный Ю.Н. Повторность как квалифицирующий признак административных деликтов в области дорожного движения // Полицейская и следственная деятельность. 2019. №2. С. 55-62.
15. Тузов А.И., Жбанова С.А. Факторы и условия, влияющие на дорожно-транспортный травматизм. пути снижения показателей смертности // Вестник краснодарского университета МВД России. 2023. №4(62).

### Жбанова Светлана Александровна

Орловский юридический институт МВД России имени В.В. Лукьянова

Адрес: 302027, Россия, г. Орёл, ул. Игнатова, д. 2

К.э.н., заместитель начальника кафедры организации деятельности ГИБДД

E-mail: svetlanasamotina@mail.ru

## **ANALYSIS OF THE MAIN MEASURES FOR THE ORGANIZATION AND MAINTENANCE OF ROAD SAFETY AT THE PRESENT STAGE**

**Abstract.** The author analyzes the formation of a system of priority measures to improve road safety based on a program-oriented approach to reduce road accidents and reduce damage from them at the federal, regional and local levels. A retrospective analysis of research and statistical indicators on the studied issues allowed us to conclude about the continuity of social development, technological achievements that cannot but affect the state of traffic around the world.

**Keywords:** traffic safety, traffic accident, program-target approach, strategy, Traffic police, systematic approach

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Mayorov V.I. Obespechenie bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya kak global'naya problema sovremennosti//Administrativnoe pravo i protsess. 2022. №6.
2. Rossiyskaya Federatsiya. Prezident. Ob utverzhdenii Kontseptsii demograficheskoy politiki Rossiyskoy Federatsii na period do 2025 goda: Ukar Prezidenta RF ot 9 oktyabrya 2007 g. №1351 (poslednyaya redaktsiya) // SZ RF. 2007. №42. St. 5009, 2014. №27. St. 3754.
3. Dorozhno-transportnaya avariynost' v Rossiyskoy Federatsii v 2023 godu. Informatsionno-analiticheskiy obzor. M.: FKU "NTS BDD MVD Rossii", 2024. 154 s.
4. Mayorov V.I. Novaya federal'naya tselevaya programma povysheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya: tselesoobraznost' razrabotki // YUrudicheskaya nauka i pravookhranitel'naya praktika. 2021. №3 (57).
5. Tuzov A.I. Znachenie Strategii Bezopasnosti Dorozhnogo Dvizheniya v snizhenii dorozhno-transportnogo travmatizma // Administrativno-pravovoe regulirovanie pravookhranitel'noy deyatel'nosti: teoriya i praktika: sb. st. VII Vseros. nauch.-prakt. konf. Krasnodar. 2018. S. 155-159.
6. Rossiyskaya Federatsiya. Zakony. O bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya: Federal'nyy zakon ot 10.12.1995 № 196-FZ (poslednyaya redaktsiya) 10 dekabrya 1995 goda №196-FZ.
7. Mayorov V.E. Sevryugin Zarubezhnyy opyt razrabotki tselevykh kompleksnykh programm po obespecheniyu bezopasnosti uchastnikov dorozhnogo dvizheniya // Vserossiyskiy kriminologicheskiy zhurnal. 2015. №4.
8. Rossiyskaya Federatsiya. Pravitel'stvo. Povyshenie bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v Rossii na 1996 - 1998 gody: Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 7 iyunya 1996 g. № 653.
9. Rossiyskaya Federatsiya. Pravitel'stvo. O federal'noy tselevoy programme Povyshenie bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v 2006 - 2012 godakh: Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 20 fevralya 2006 g. №100.
10. Rossiyskaya Federatsiya. Pravitel'stvo. O federal'noy tselevoy programme Povyshenie bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v 2013-2020 godakh: Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 3 oktyabrya 2013 g. № 864.
11. Shevchenko P.N. Etapy razvitiya sistemy bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v rossiyskom gosudarstve // Vestnik Moskovskogo universiteta MVD Rossii. 2013. №11.
12. Kalyuzhnyy YU.N. Tsifrovye tekhnologii kak novye vozmozhnosti obespecheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya // Administrativnoe pravo i protsess. 2021. №11.
13. Pozharskiy D.V. Iskusstvennyy intellekt i chelovecheskiy razum v gosudarstvenno-pravovoy real'nosti // Trudy Akademii upravleniya MVD Rossii. 2020. №1(53). S. 8-15.
14. Kalyuzhnyy YU.N. Povtornost' kak kvalifitsiruyushchiy priznak administrativnykh deliktov v oblasti dorozhnogo dvizheniya // Politseyskaya i sledstvennaya deyatel'nost'. 2019. №2. S. 55-62.
15. Tuzov A.I., Zhbanova S.A. Faktory i usloviya, vliyayushchie na dorozhno-transportnyy travmatizm. puti snizheniya pokazateley smertnosti // Vestnik krasnodarskogo universiteta MVD Rossii. 2023. №4(62).

**Zhbanova Svetlana Alexandrovna**

Oryol Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia  
Address: 302027, Russia, Orel, st. Ignatova, 2  
Candidate of Economic Sciences  
E-mail: svetlanasamotina@mail.ru

УДК 656.13.072:338  
doi:10.33979/2073-7432-2025-1-3(88)-18-23

А.Н. НОВИКОВ, С.А. ЖЕСТКОВА

## ЦИФРОВИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ СЕТЕВОЙ ДОСТАВКИ ГРУЗА АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ

**Аннотация.** В статье рассмотрена методика по повышению эффективности сетевой доставки груза. Применение разработанной методики позволяет рассчитать оптимальное расположение распределительного центра товарных потоков, сформировать маршруты с ограничениями на основе использования точного метода фиктивных узлов и ветвей. Учесть криволинейность маршрутов, за счет применения кусочно – линейной аппроксимации.

На основе методики разработано программное обеспечение. Применение на практике предложенных решений позволило сократить время и количество маршрутов, сформировать оптимальные маршруты доставки товара с учетом ограничений, уйти от аутсорсинга и использовать собственный подвижной состав, сократить затраты на организацию и управление транспортно-логистическими процессами сетевой доставки груза.

**Ключевые слова:** груз, маршрут, оптимизация, цифровизация, сетевая доставка, автомобильный транспорт

### Введение

Доставка товара с распределительного центра в торговые предприятия - это сложный процесс, требующий слаженной работы каждого звена логистической цепочки. Правильно спланированные и организованные операции позволяет повысить эффективность перевозочного процесса, снизить затраты на доставку товара, повысить качество предоставляемых услуг и увеличить уровень удовлетворенности клиентов. При организации перевозочных услуг большое значение имеет время доставки грузов в торговые предприятия. Использование цифровизации в управлении и организации процессами перевозок обеспечивает быструю адаптацию к меняющимся условиям – это один из ключевых факторов рыночного успеха.

### Материал и методы

Для повышения эффективности управления и организации перевозочными процессами сетевой доставки груза с распорядительного центра в торговые точки, была разработана методика позволяющая, определять оптимальное расположение распределительного центра товарных потоков, рассчитать оптимальные маршруты с ограничениями на основе использования точного метода фиктивных узлов и ветвей (ФУВ).

В качестве ограничений можно принимать - тип подъездного пути, вместимость подвижного состава, грузоподъемность подвижного состава, количество пунктов на маршруте. Ограничения определяются логистом в зависимости от условий, влияющих на организацию и управление перевозочным процессом.

### Теория

Разработанная методика включает несколько этапов:

1 этап. Вводим систему координат.

2 этап. Вычисляем координаты грузового центра тяжести [1-5].

$$x_c = \frac{s_1 x_1 + s_2 x_2 + \dots + s_i x_i}{s_1 + s_2 + \dots + s_i}, \quad (1)$$

$$y_c = \frac{s_1 y_1 + s_2 y_2 + \dots + s_i y_i}{s_1 + s_2 + \dots + s_i}, \quad (2)$$

где  $x_c$  и  $y_c$  – координаты расположения грузового центра тяжести;

$x_i$  и  $y_i$  – координаты  $i$ -го пункта;

3 этап. Находим на транспортном графе расчетные узлы наиболее близко расположенные от него.

4 этап. Рассчитываем методом ФУВ кольцевые маршруты, поочередно располагая начало отсчета в расчётных точках [6-10].

5 этап. Выполняем кусочно-линейную аппроксимацию полученных маршрутов.

6 этап. Находим координаты точек центров транспортной работы на каждой ветви маршрутов [11-15].

7 этап. Вычисляем транспортную работу на всех ветвях маршрутов.

$$W_i = W_i^{sp} + \dots + W_i^{asm}, \quad (3)$$

где  $W_i^{sp}$  – транспортная работа на перемещение груза;

$W_i^{asm}$  – работа на перемещение автомобиля.

8 этап. Рассчитываем координаты расположения региональных центров.

$$x_c = \frac{W_1 x_1 + W_2 x_2 + \dots + W_i x_i}{W_1 + W_2 + \dots + W_i}, \quad (4)$$

$$y_c = \frac{W_1 y_1 + W_2 y_2 + \dots + W_i y_i}{W_1 + W_2 + \dots + W_i}. \quad (5)$$

Здесь  $W_i$  – работа на  $i$ -ой ветви. Ее координаты на ветви обозначены через  $x_i$  и  $y_i$ .

9 этап. Вычисляем их среднее значение и располагаем региональный центр.

На основе разработанной методики, было разработано программное обеспечение.

Рассмотрим применение разработанной методики на примере сетевой доставки груза компании ПАО «Магнит» с распределительного центра АО «Тандер» в торговые точки за смену. Распределительный центр обслуживает Пензенскую, Саратовскую область и Республику Мордовия. Распределительный центр обслуживает 780 торговых точек, для доставки товара используют автомобили MAN TGS 26.350 6\*2 -2 BL-WW и MAN TGS 18.250 4\*2BL – вместимостью 19 и 29 п/м. Формирование маршрутов в распределительном центре осуществляется на основе использования эвристического метода Свира.

### ***Результаты и обсуждение***

Согласно разработанной методике, решение задачи разбивается на несколько этапов:

1 этап. Вводим систему координат и определяем координаты 106 торговых точек и распределительного центра товарных потоков. Все магазины имеют свое название.

2 этап. Вычисляем координаты временного центра тяжести и наносим на карту полученную точку (рис. 1).

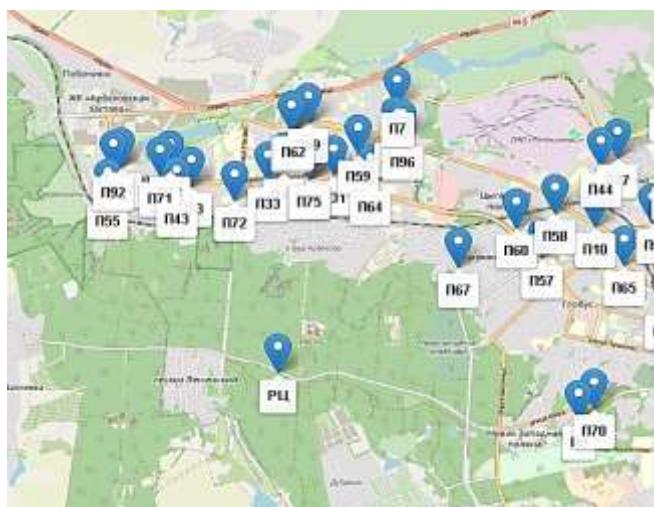
$$x_c = \frac{q_1 x_1 + q_2 x_2 + \dots + q_6 x_6}{q_1 + q_2 + \dots + q_6} = \frac{28782,4127}{541} = 53,20224158 \text{ км},$$

$$y_c = \frac{q_1 y_1 + q_2 y_2 + \dots + q_6 y_6}{q_1 + q_2 + \dots + q_6} = \frac{24298,5271262}{541} = 44,91409820 \text{ км.}$$

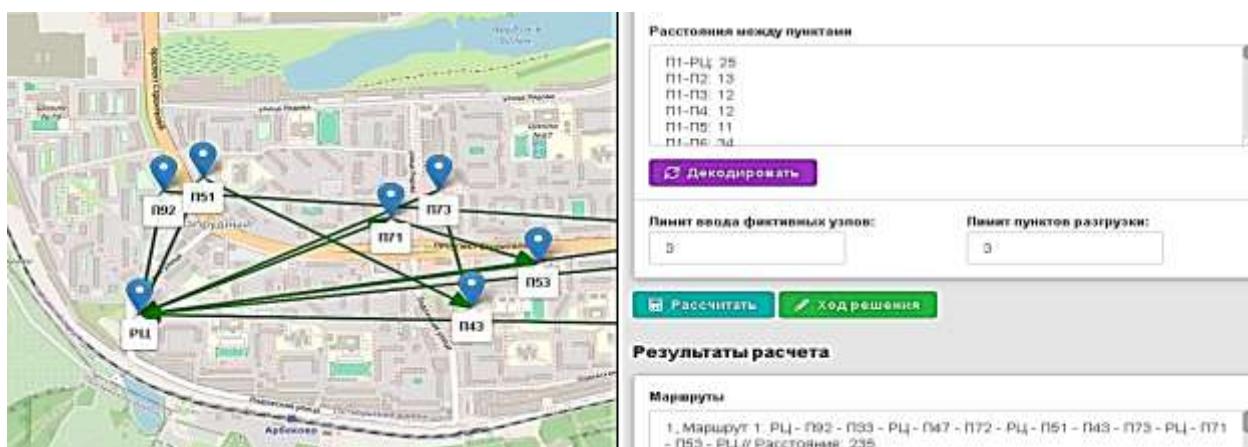
2. Далее находим по карте расчетные узлы, расположенные около временного центра тяжести. В данном случае, наиболее близко расположенные расчетные узлы – П55, П9.

3. Проектируем оптимальные маршруты методом фиктивных узлов и ветвей (ФУВ) с учетом ограничений по вместимости (19 пл./м) и количеству пунктов на маршруте (3 пункта) с ближайших расчетных узлов.

Рассмотрим начало формирование маршрутов, с первого расчетного узла – П55 с помощью программного обеспечения Distribution Center № 2024614147 и Transportation № 2023664020, результаты работы программы приведены на рисунке 2. С расчётного узла П55 получилось 35 маршрутов. В таблице 1 приведены маршруты с кратчайшими расстояниями.



*Рисунок 1 – Расположение на карте грузового центра тяжести*



*Рисунок 2 – Определение оптимальных маршрутов с расчётом точки П55*

Таблица 1 – Расчетные маршруты с расчетной точки П55

№ маршрута	Длина маршрута
1	РЦ–Луковица–Бубнова –Грейви –РЦ = 47,3км
2	РЦ–Хозтовары–Пазл –Арбеково– РЦ= 46,14км
3	РЦ–Кубист–Лимач – Грейви– РЦ= 35 км
4	РЦ– Голдак–Шармаш–Авокадо–РЦ = 43 км

Результаты работы программы по формированию маршрутов с расчетной точки П9 приведены на рисунке 3. В таблице 2 приведены маршруты с кратчайшими расстояниями с данной расчетной точки.

Таблица 2 - Расчетные маршруты с расчетной точкой П9

№ маршрута	маршрут
1	РЦ–Бериллий – Сальса – Земельный–РЦ= 40,2км
2	РЦ – Сфера–Садко – Арахисовый –РЦ = 42,5км
3	РЦ–Свисток–Беляевский – Грмотей–РЦ = 35,1км

4. Вычисляем на каждом участке спроектированного маршрута длину и транспортную работу, результаты расчетов сведены в таблицу 3.

Таблица 3– Результаты расчетов

Начало отсчета	Обозначение	$l$ , км	$P$ , т.км
1	2	5	6
П55	ЦР55	2123	57295
П72	ЦР72	2019	54486

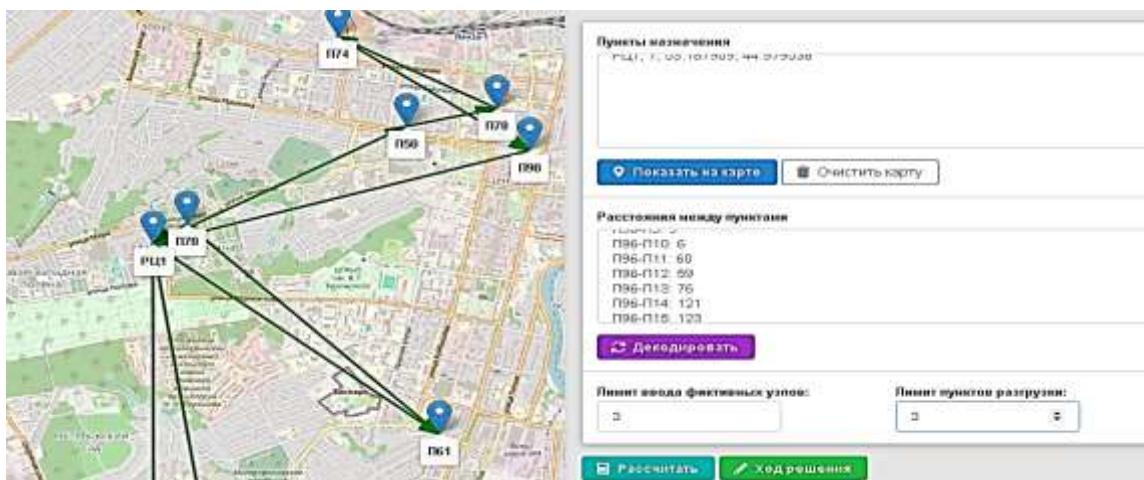


Рисунок 3 – Определение оптимальных маршрутов с расчётомной точки П9

5. Вычисляем координаты расчётных распределительных центров, далее определяем средние их значения и в полученной точке располагаем распределительный центр. Результаты приведены в таблице 4

Таблица 4 – Результаты расчетов

Начало отсчета	Обозначение	x, км	y, км
1	2	3	4
P55	ЦР55	53,20506670	44,90468169
P72	ЦР72	53,2050647	44,91704131
среднее	РЦ	53,2050657	44,91086615

Для определения эффективности разработанной методики, рассмотрим затраты на доставку товара за смену с существующего распределительного центра, где маршруты формировались на основе использования эвристического метода Свира и с расчётного распределительного центра, где маршруты формировались точным методом ФУВ.

Затраты на организацию маршрутов:

$$Z_m = C^l \sum l + C^q \sum P + t^{pro} C^u + \sum t C^e, \quad (6)$$

где  $C^l$  – стоимость одного километра пробега транспортного средства, руб./км;

$\sum l$  – пробег всех транспортных средств за смену, км;

$C^q$  – стоимость единицы транспортной работы, руб./ $m \cdot km$ ;

$\sum P$  – транспортная работа всех транспортных средств за смену,  $m \cdot km$ ;

$t^{pro}$  – простой транспортного средства за смену, ч;

$C^u$  – стоимость одного часа нахождения транспортного средства в наряде, руб./ч;

$\sum t$  – время нахождения транспортного средства в наряде, ч;

$C^e$  – стоимость одного часа работы водителя, руб./ч.

Согласно полученным данным:  $C^q=4,48$  руб./т.км;  $C^u=357$  руб./ч;  $C^e=204$  руб./ч;  $C^l=28$  руб./км.

Результаты расчётов, проведенных по формуле (6) для одной и той же смены работы компаний:

- при существующей организации работ:  $Z_m = 381668,06$  руб.,

- при внедрении разработанных мероприятий:  $Z_m = 496616,84$  руб.

Следовательно, за смену затраты на доставку груза уменьшаются на 13 %.

### Выход

Разработана методика позволяющая повысить эффективность сетевой доставки груза с распределительного центра в торговые точки. На основе предложенной методики разработано программное обеспечение. Применение разработанного программного обеспечения на практике, позволило оцифровать транспортно-логистические процессы сетевой доставки груза автомобильным транспортом, осуществлять планирование и организацию процесса до-

ставки груза с учетом ограничений, сократить время на доставку товара и затраты на организацию маршрутов на 13%.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вольхин Е.Т. Модели размещения распределительных центров // Управленец. 2018. Т.9. №2. С. 54-60.
2. Кирсанов М.Н. Теоретическая механика. 2-е изд., испр. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. 384 с.
3. Салун О.Я. [и др.]. Логистика. Практикум: Учеб.-мет. пособие. Минск: БГАТУ, 2018. 184 с.
4. Гаджинский А. М. Выбор места расположения склада: Справочник экономиста. №8. 2004. С. 47-55.
5. Жесткова С.А. Повышение эффективности управление процессами перевозок сетевой доставки груза автомобильным транспортом. 2024. №3-3(86). С. 34-39.
6. Николин В.И., Витвицкий Е.Е., Мочалин С.М. Грузовые автомобильные перевозки: Монография. Омск: Вариант-Сибирь, 2004. 482 с.
7. Новиков А.Н., Жесткова С.А. Решение задачи маршрутизации с ограничениями величины партий груза и количества пунктов. 2023. №4-2(83). С. 61-70.
8. Новиков А.Н., Жесткова С.А. Методические аспекты определения координат центра распределения материальных потоков. 2023. №4-1(83). С. 67-74.
9. Новиков А.Н., Жесткова С.А. Методика проектирования кольцевых маршрутов с обратным грузом. 2024. №1-3(84). С.19-27.
10. Новиков А.Н., Жесткова С.А. Методические аспекты определения расположения распределительного центра на основе критерия времени методом фiktивных узлов и ветвей. 2024. №2-1(85). С. 31-38.
11. Новиков А.Н., Жесткова С.А. Задача маршрутизации кольцевых схем передвижения на основе использования метода фiktивных узлов и ветвей // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №1-1(84). С. 22-30.
12. Новиков А.Н., Жесткова С.А. Методические аспекты определения координат центра распределения материальных потоков // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №4-1(83). С. 74-81.
13. Sho S., Haruna M., Yoshifumi N. Ant colony optimization using genetic information for TSP // Proceedings of the International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications OLTA.2011. Japan: Kobe. P. 48-51.
14. Harrath Y. [et al.] A novel hybrid approach for solving the multiple traveling salesmen problem // Arab Journal of Basic and Applied Sciences. 2019. Vol. 26. P. 103-112.
15. Littl J.D.C., Murty K.G., Sweeney D., Karel C. An algorithm for the traveling salesman problem // Operations Research. 1963. Vol. 11. P. 972-989.

**Новиков Александр Николаевич**

Орловский государственный университет им. Тургенева И.С.

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

Д.т.н., профессор

E-mail: novikovan58@bk.ru

**Жесткова Светлана Анатольевна**

Пензенской государственный университет архитектуры и строительства

Адрес: 440028, г. Пенза, ул. Г. Титова, 28

К.т.н., доцент

E-mail: s.zhestkova@yandex.ru

---

A.N. NOVIKOV, S.A. ZHESTKOVA

## DIGITALIZATION OF THE MANAGEMENT OF TRANSPORT AND LOGISTICS PROCESSES OF NETWORK CARGO DELIVERY BY ROAD

*Abstract. The article considers a methodology for improving the efficiency of network cargo delivery. The application of the developed methodology makes it possible to calculate the optimal location of the distribution center of commodity flows, to form routes with restrictions based on the use of the exact method of fictitious nodes and branches. Take into account the curvilinearity of the routes by using piecewise linear approximation.*

*Software has been developed based on the methodology. The practical application of the proposed solutions made it possible to reduce the time and number of routes, create optimal routes for the delivery of goods, taking into account restrictions, avoid outsourcing and use your own rolling stock, reduce*

## BIBLIOGRAPHY

1. Vol'khin E.T. Modeli razmeshcheniya raspredelitel'nykh tsentrov // Upravlenets. 2018. T.9. №2. S. 54-60.
2. Kirsanov M.N. Teoreticheskaya mekhanika. 2-e izd., ispr. M.: FIZMATLIT, 2007. 384 s.
3. Salun O.YA. [i dr.]. Logistika. Praktikum: Ucheb.-met. posobie. Minsk: BGATU, 2018. 184 s.
4. Gadzhinskiy A. M. Vybor mesta raspolozheniya sklada: Spravochnik ekonomista. №8. 2004. S. 47-55.
5. ZHestkova S.A. Povyshenie effektivnosti upravlenie protsessami perevozok setevoy dostavki gruza avtomobilnym transportom. 2024. №3-3(86). S. 34-39.
6. Nikolin V.I., Vitvitskiy E.E., Mochalin S.M. Gruzovye avtomobil'nye perevozki: Monografiya. Omsk: Variant-Sibir', 2004. 482 s.
7. Novikov A.N., ZHestkova S.A. Reshenie zadachi marshrutizatsii s ograniceniyami velichiny partiy gruza i kolichestva punktov. 2023. №4-2(83). S. 61-70.
8. Novikov A.N., ZHestkova S.A. Metodicheskie aspekty opredeleniya koordinat tsentra raspredeleniya material'nykh potokov. 2023. №4-1(83). S. 67-74.
9. Novikov A.N., ZHestkova S.A. Metodika proektirovaniya kol'tsevykh marshrutov s obratnym gruzom. 2024. №1-3(84). S.19-27.
10. Novikov A.N., ZHestkova S.A. Metodicheskie aspekty opredeleniya raspolozheniya raspredelitel'nogo tsentra na osnove kriteriya vremeni metodom fiktivnykh uzlov i vetvey. 2024. №2-1(85). S. 31-38.
11. Novikov A.N., ZHestkova S.A. Zadacha marshrutizatsii kol'tsevykh skhem peredvizheniya na osnove ispol'zovaniya metoda fiktivnykh uzlov i vetvey // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2024. №1-1(84). S. 22-30.
12. Novikov A.N., ZHestkova S.A. Metodicheskie aspekty opredeleniya koordinat tsentra raspredeleniya material'nykh potokov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №4-1(83). S. 74-81.
13. Sho S., Haruna M., Yoshifumi N. Ant colony optimization using genetic information for TSP // Proceedings of the International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications OLTA.2011. Japan: Kobe. P. 48-51.
14. Harrath Y. [et al.] A novel hybrid approach for solving the multiple traveling salesmen problem // Arab Journal of Basic and Applied Sciences. 2019. Vol. 26. P. 103-112.
15. Littl J.D.C., Murty K.G., Sweeney D., Karel C. An algorithm for the traveling salesman problem // Operations Research. 1963. Vol. 11. R. 972-989.

**Novikov Alexander Nikolayevich**

Orlov State University

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

Doctor of technical sciences

E-mail: novikovan58@bk.ru

**Getzkova Svetlana Anatolevna**

Penza State University of Architecture and Construction

Address: 440028, Russia, Penza, st. G. Titova, 28

Candidate of technical sciences

E-mail: s.zhestkova@yandex.ru

## ЭКСПЛУАТАЦИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

УДК 620.1

doi:10.33979/2073-7432-2025-1-3(88)-24-33

А.Ю. РОДИЧЕВ

### АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ТВЕРДОСМАЗОЧНЫХ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ В ПРОЦЕССЕ ЕГО НАНЕСЕНИЯ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ И РЕМОНТЕ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

**Аннотация.** В статье представлено исследование послойного нанесения твердосмазочных антифрикционных покрытий Moykote 3402 C LF и MODENGY 1003 на поверхность изделия., с помощью комплексного подхода, который включает в себя: изучение структуры, состава, механических и трибологических свойств. На основании проведенных исследований были сделаны выводы о процессе формирования и качестве полученного антифрикционного слоя. Даны рекомендации по использованию твердых антифрикционных покрытий при техническом обслуживании и ремонте автомобильной техники.

**Ключевые слова:** экспериментальные исследования, послойное нанесение, твердосмазочные антифрикционные покрытия, шероховатость.

#### Введение

При эксплуатации автомобильного транспорта, работающего в тяжелых условиях, предъявляются повышенные требования к надежности, долговечности узлов и агрегатов, а также к увеличению ресурса подвижных соединений [1, 2]. Для снижения механических потерь и повышения износостойкости деталей и узлов, функционирующих при различных видах трения (сухом, граничном, жидкостном), активно применяются твердые смазочные материалы в виде тонких покрытий. Эти покрытия обладают рядом уникальных характеристик [3, 4]: во-первых, они минимизируют трение между сопряженными поверхностями, что уменьшает износ деталей и продлевает их срок службы; во-вторых, они отличаются высокой прочностью и устойчивостью к механическим воздействиям, что позволяет им сохранять свои свойства даже при экстремальных нагрузках и скоростях [5, 6]. Применение современных твердых антифрикционных покрытий способствует решению задачи снижения коэффициента трения и, как следствие, уменьшению износа в процессе эксплуатации узлов и агрегатов [7, 8]. Одним из ключевых показателей качества антифрикционной поверхности является ее адгезия. Проведенные ранее исследования свидетельствуют о том, что тонкие пленочные покрытия (толщиной менее 5 мкм) быстро изнашиваются и имеют ограниченный срок службы. В то же время толстые покрытия (толщиной более 30 мкм) склонны к отслаиванию из-за недостаточной адгезии. Долговечность и антифрикционные свойства твердых (пленочных) покрытий зависят от множества факторов, включая толщину наносимого слоя, предварительную подготовку поверхности, температуру основы, тип материала, на который наносится покрытие, и режимы его нанесения. Процесс подготовки поверхности включает несколько этапов: пескоструйную обработку или травление для увеличения шероховатости и удаления окислов и загрязнений; обезжикивание и фосфатирование для повышения прочности покрытия и защиты от атмосферной коррозии [9, 10].

Одной из важных перспектив развития твердых антифрикционных покрытий является улучшение их эксплуатационных характеристик. Современные ученые и инженеры активно работают над созданием новых покрытий, которые будут более эффективными, долговечными и при этом доступными, и простыми в применении. Еще одним перспективным направлением

лением является разработка адаптивных покрытий, способных изменять свои свойства в зависимости от условий эксплуатации, таких как температура или нагрузка. Это позволит использовать одни и те же детали в различных условиях без необходимости замены покрытия. Также актуальной задачей является создание покрытий, способных восстанавливать свои свойства после износа, например, за счет избирательного переноса или применения нанотехнологий.

Современные твердые антифрикционные покрытия должны обладать высокой прочностью и износостойкостью [11-14]. Поэтому одной из ключевых задач является разработка покрытий с улучшенными трибологическими характеристиками, такими как высокая прочность сцепления с основной (адгезия), низкий коэффициент трения, высокая износостойкость. Адгезия, или прочность сцепления покрытия с поверхностью детали, а также качество формируемого антифрикционного слоя, является одним из основных критериев при создании новых покрытий и модернизации существующих. Изучение взаимодействия между основой и покрытием в условиях контактного сопряжения с учетом воздействия окружающей среды, а также исследование процессов формирования слоев покрытия, их структуры и химического состава остаются важными научными задачами, требующими решения [15-17].

### **Материал и методы**

При проведении исследования были затронуты сразу несколько вопросов: такие как формирование антифрикционного слоя и закономерности изменения его в процессе послойного нанесения. В качестве образцов были изготовлены цилиндры из бронзы БрОФ 10-1 диаметром Ø10 мм и толщиной 5мм. В качестве антифрикционного слоя на них наносились покрытия на основе дисульфида молибдена и графита - Molykote 3402 C LF и MODENGY 1003.

Антифрикционное покрытие Molykote 3402 C LF [18, 19] представляет собой воздушно-сухую пленочную смазку, содержащую несколько ключевых компонентов: одним из которых в качестве твердых смазочных материалов, используются дисульфид молибдена ( $\text{MoS}_2$ ) 12 %, который обеспечивает высокую износостойкость и снижает трение в условиях высоких нагрузок, вторым компонентом является триоксид сурьмы ( $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ), который улучшает антифрикционные свойства и устойчивость к коррозии. В данном покрытии имеется органический связующий компонент, который создает прочную пленку, обеспечивающую долговечную защиту и адгезию к металлическим поверхностям. Для облегчения нанесения покрытия и обеспечения его равномерного распределения используется органический растворитель. Важно отметить, что данное покрытие не содержит политетрафторэтилена (PTFE) или пер- и полифторалкильных веществ (PFAS), что делает его более экологически безопасным. Благодаря такому составу, покрытие обладает отличными антифрикционными свойствами, устойчивостью к коррозии и высоким нагрузкам, что делает его подходящим для применения в автомобильной, аэрокосмической и других отраслях промышленности.

Антифрикционное твердосмазочное покрытие MODENGY 1003 (тверждение при нормальной температуре) состоит из нескольких компонентов, обеспечивающих его высокоэффективные свойства [20, 21]. Более 30 % состава занимают смесь органических растворителей, облегчающих нанесение покрытия. От 15 % до 30 % приходится на органическое связующее вещество, которое создает прочную пленку и обеспечивает долговечную защиту и адгезию к металлическим поверхностям. Ключевыми элементами, снижающими трение и повышающими износостойкость, являются твердые смазочные материалы. В их состав входят дисульфид молибдена ( $\text{MoS}_2$ ) и графит, содержание которых также варьируется от 15% до 30 %. Эти компоненты способствуют низкому коэффициенту трения и высокой несущей способности покрытия. Кроме того, в состав включены функциональные добавки, занимающие менее 5 %. Они улучшают общие эксплуатационные характеристики покрытия, такие как устойчивость к коррозии и расширение диапазона рабочих температур от  $-70^\circ \text{ С}$  до  $+260^\circ \text{ С}$ . Благодаря своим уникальным свойствам, MODENGY 1003 подходит для различных применений в промышленности. Оно эффективно используется в шлицевых соединениях приводных валов, на пальцах и втулках экскаваторов, направляющих скольжения станков и юбках поршней ДВС. Покрытие обладает высокой адгезией, способно отверждаться при

комнатной температуре и защищает от фреттинг-коррозии, что делает его надежным выбором для узлов трения в условиях высоких нагрузок и различных рабочих условий.

Исследование твердых антифрикционных покрытий требует комплексного подхода, который включает изучение их структуры, состава, механических и трибологических свойств. Для этого применяется современное оборудование, такое как зондовый микроскоп СММ-2000, профилометр Протон модель 130, электронный микроскоп СОХЕМ ЕМ-30АХ, ИК-спектрометр IROS 05 и толщиномер PaintMeter 1500. Каждый из этих приборов вносит свой вклад в получение полной картины свойств покрытий, обеспечивая высокую точность и детализацию анализа:

Зондовый микроскоп СММ-2000 открывает возможность изучения поверхности материалов с нанометровым разрешением, что позволяет не только анализировать топографию, но и выявлять мельчайшие дефекты, такие как неровности, шероховатости или микротрешины. С его помощью можно исследовать механические свойства покрытий, включая модуль упругости, твердость и адгезию, что особенно важно для понимания их поведения в условиях эксплуатации. Кроме того, зондовый микроскоп незаменим при проведении трибологических исследований, таких как изучение трения и износа на микроуровне, а также для фазовой визуализации, которая помогает различить участки поверхности с разным химическим составом.

Профилометр Протон модель 130 играет ключевую роль в оценке шероховатости и геометрических параметров поверхности. Этот прибор позволяет точно измерять такие параметры, как Ra, Rz и Rmax, а также анализировать профиль поверхности, выявляя царапины, впадины и другие дефекты. Благодаря этому можно контролировать качество нанесения покрытия, оценивать его равномерность и состояние после механической обработки. Профилометр становится незаменимым инструментом для обеспечения соответствия покрытий заданным стандартам.

Электронный микроскоп СОХЕМ ЕМ-30АХ предоставляет уникальную возможность изучать структуру и состав материалов с высочайшим разрешением. С его помощью можно проводить морфологический анализ поверхности, выявляя трещины, поры и включения, которые могут влиять на эксплуатационные свойства покрытий. Энергодисперсионный спектрометр (EDS), входящий в состав микроскопа, позволяет определять химический состав материала, что особенно важно для понимания его свойств. Кроме того, электронный микроскоп используется для анализа изменений поверхности после трибологических испытаний, что помогает оценить устойчивость покрытия к износу.

ИК-спектрометр IROS 05 вносит свой вклад в исследование химического состава и молекулярной структуры покрытий. Этот прибор позволяет идентифицировать функциональные группы, определять органические и неорганические компоненты, а также изучать химические связи на молекулярном уровне. ИК-спектроскопия также используется для контроля качества покрытий, включая выявление примесей или неоднородностей в составе, что помогает обеспечить соответствие материала заданным требованиям.

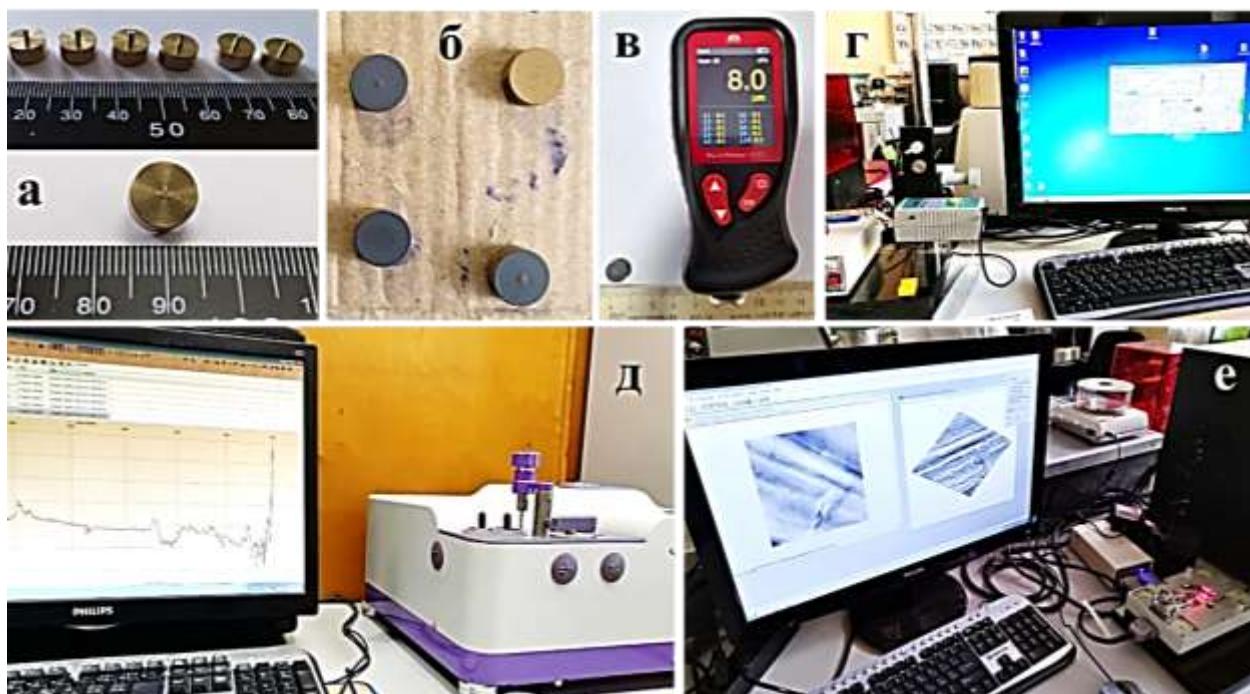
Толщиномер PaintMeter 1500 завершает комплексный анализ, предоставляя точные данные о толщине покрытий. Этот прибор позволяет контролировать равномерность нанесения, оценивать соответствие заданным параметрам и выявлять дефекты, такие как отслоения или неравномерность толщины. Кроме того, толщиномер косвенно помогает оценить адгезию покрытия к подложке, что является важным параметром для обеспечения долговечности материала.

Использование всех перечисленных методов в совокупности позволяет получить всестороннюю информацию о свойствах антифрикционных покрытий. Зондовый и электронный микроскопы дают представление о морфологии и структуре поверхности, профилометр - о шероховатости и геометрических параметрах, ИК-спектрометр и электронный микроскоп с EDS - о химическом составе, а толщиномер - о толщине и адгезии. Такой комплексный подход не только помогает оптимизировать состав и технологию нанесения покрытий, но и способствует повышению их эксплуатационных характеристик, что делает их более надежными

и долговечными в реальных условиях применения.

### **Теория**

Было изготовлено двадцать образцов из бронзы БрОФ 10-1 диаметром Ø10 мм и толщиной 5мм (рисунок 1). Подготовка рабочей поверхности образцов осуществлялась двумя способами, каждый из которых был выбран для проведения отдельных экспериментов. В первом случае поверхность обрабатывалась пескоструйным методом с использованием кварцевого песка марки 1К103025 ГОСТ 2138-9, величина фракции которого составляла 0,1–0,25 мм. Во втором эксперименте поверхность образцов подвергалась шлифованию на специализированном станке. После механической обработки все образцы были очищены сжатым воздухом. Условия очистки включали давление воздуха от 0,2 до 0,5 МПа при расходе от 1,5 до 3 м<sup>3</sup>/мин, угол наклона воздушной струи к поверхности от 60° до 90° и дистанцию обработки (расстояние от сопла до поверхности) от 100 до 150 мм. Далее поверхности образцов обезжиривались путем нанесения специального состава тампоном до полного укрытия, после чего состав испарялся при нормальной температуре в течение не менее 15 минут.



**Рисунок 1 – Процесс проведения экспериментальных исследований:**  
а – подготовка образцов; б – нанесение твердого антифрикционного покрытия;  
в – замеры толщины покрытия; г – профилометрия поверхности;  
д – ИК-спектрометрия; е – зондовая микроскопия

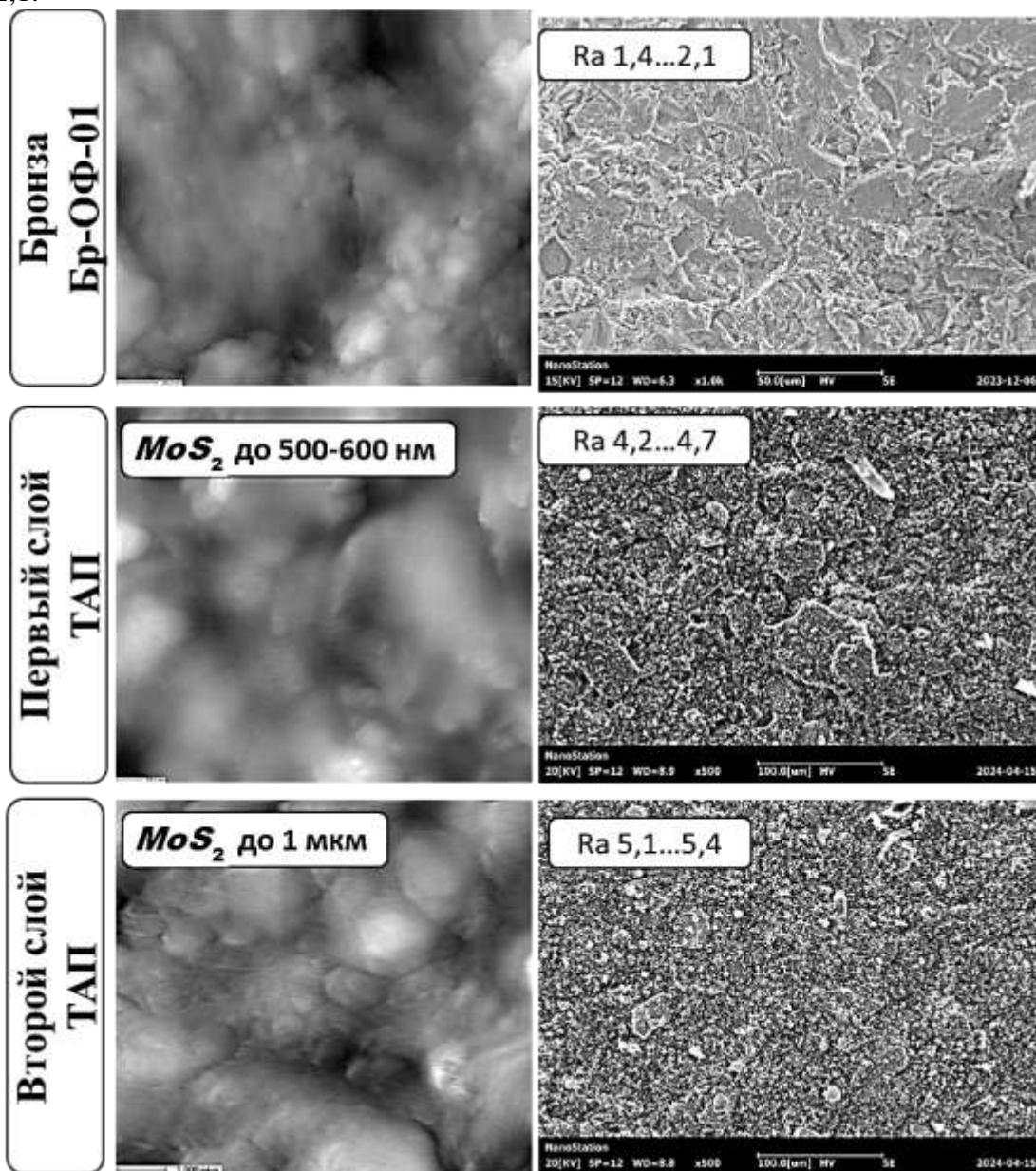
На следующем этапе исследований на подготовленные поверхности наносилось твердое антифрикционное покрытие Molykote 3402 C LF (10 образцов) и твердое антифрикционное покрытие MODENGY 1003 (10 образцов). Процесс нанесения включал несколько стадий: сначала наносился первый слой, затем, после выдержки в течение 24 часов для достижения стабильного состояния покрытия, наносились последующие слои. Для анализа образцов на каждом этапе исследования применялось специальное лабораторное оборудование, описанное выше.

### **Результаты и обсуждение**

Проведенные исследования показали, что процесс послойного формирования твердого антифрикционного покрытие Molykote 3402 C LF и MODENGY 1003 морфология поверхности по данным атомно силовой микроскопии показывает, незначительно различие в особенностях организации поверхности и параметрах характерных элементов ее образующих.

В результате проведения (рисунок 2) по десяти образцам (по пять на каждый вид покрытия) изготовленных из бронзы БрОФ 10-1 с последующей пескоструйной обработкой

кварцевым песком было установлено, что морфология поверхности отражает четкие следы характерные для пескоструйной обработки, при этом размер отдельных частиц рельефа составляет порядка 100-200 нм, при этом шероховатость полученной поверхности составляет Ra 1,4-2,1.



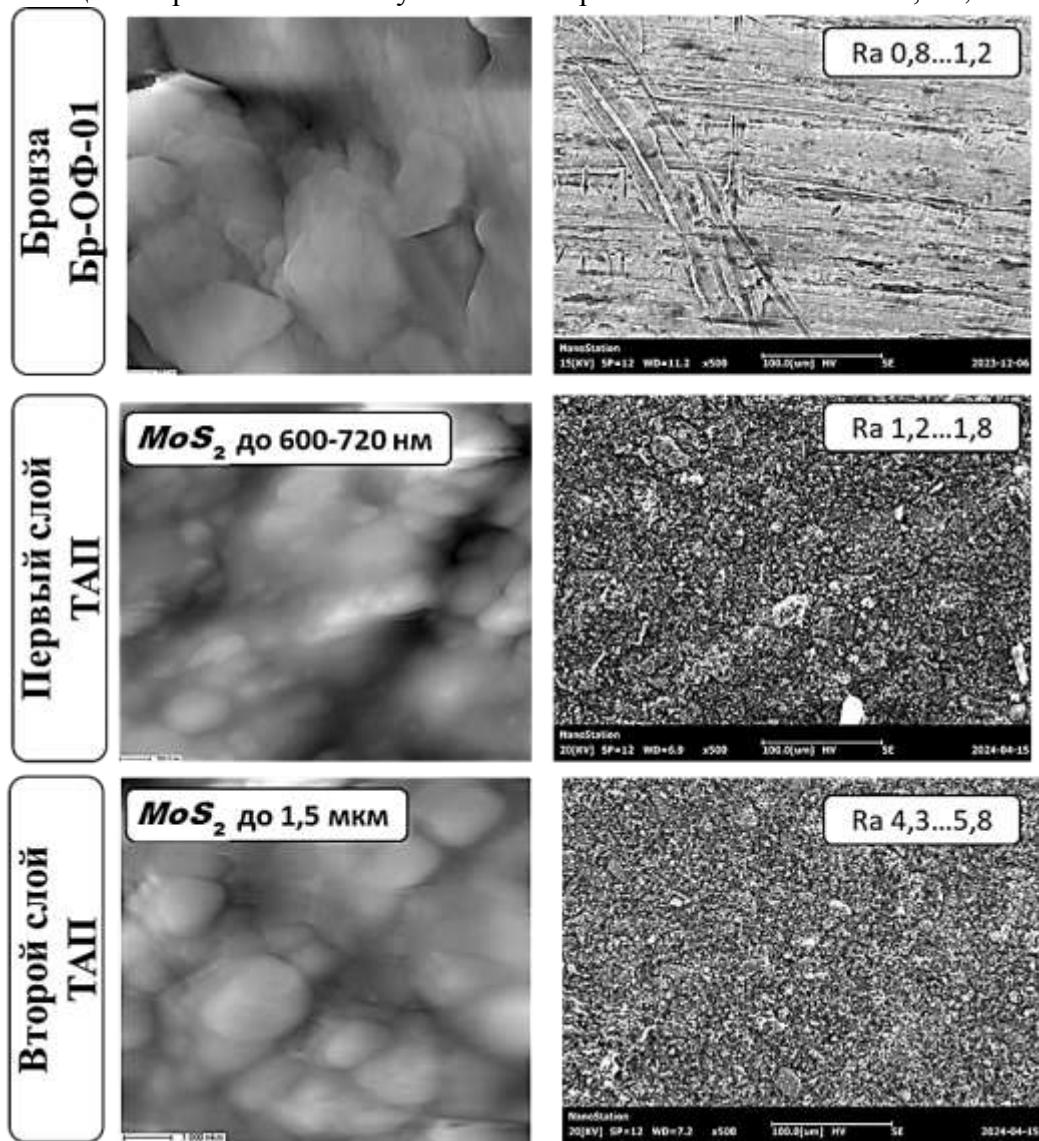
*Рисунок 2 – Процесс формирования твердого антифрикционного покрытия на поверхности после пескоструйной обработки*

Первый слой твердого антифрикционного покрытия, более сглаженный по сравнению с исходной поверхностью, элементы исходного рельефа на наноуровне отсутствуют, наблюдается наличие микрочастиц смазки дисульфида молибдена размером до 500-600 нм. На микрорельефе на ряде изучаемых образцов прослеживается характерный микрорельеф исходного образца. Шероховатость полученной поверхности составляет Ra 4,2-4,7. При этом толщина нанесенного покрытия составляет от 5 до 8 мкм

Второй слой покрытия, характеризуется более сглаженным рельефом по сравнению с первым, при этом наблюдается более плотное формирование частиц дисульфида молибдена, присутствуют их агломераты размером до 1 мкм, при этом шероховатость полученной поверхности составила Ra 5,1-5,4. При этом толщина нанесенных двух слоев покрытия составляет от 11 до 17 мкм

Третий и четвертый слой покрытия, характеризуется еще более сглаженным рельефом по сравнению с первым и вторым, при этом наблюдается более плотное формирование частиц дисульфида молибдена, присутствуют их агломераты размером до 1,5 мкм, при этом шероховатость полученной поверхности составила Ra 8-10. При этом суммарная толщина нанесенных слоев покрытия составляет от 25 до 31 мкм

На образцах, изготовленных из БрОФ 10-1 с последующим шлифованием (рис. 3) было установлено, что морфология поверхности отражает относительно не глубокие борозды расстояние между которыми составляет 1-2 мкм, при этом на поверхности отсутствуют отдельные частицы. Шероховатость полученной поверхности составляет Ra 0,8-1,2.



*Рисунок 3 – Процесс формирования твердого антифрикционного покрытия на поверхности после пескоструйной обработки*

Первый слой твердого антифрикционного покрытия, более сглаженный по сравнению с исходной поверхностью, элементы исходного рельефа на нано уровне отсутствуют, наблюдается наличие микрочастиц смазки дисульфида молибдена размером до 680-720 нм. На микроуровне прослеживается рельеф из бороздок исходного образца. Шероховатость полученной поверхности составляет Ra 1,2-1,8. При этом толщина нанесенного покрытия составляет от 4 до 7 мкм

Второй слой покрытия, характеризуется более сглаженным рельефом по сравнению с первым, бороздки от исходного образца отсутствуют, при этом наблюдается более плотное формирование частиц дисульфида молибдена, присутствуют их агломераты размером до 1,5

мкм, при этом шероховатость полученной поверхности составила Ra 4,8-5,8. При этом толщина нанесенного покрытия составляет от 9 до 14 мкм

Третий и четвертый слой покрытия, характеризуется еще более сглаженным рельефом по сравнению с первым и вторым, при этом наблюдается более плотное формирование частиц дисульфида молибдена, присутствуют их агломераты размером до 1,7 мкм, при этом шероховатость полученной поверхности составила Ra 7-11. При этом суммарная толщина нанесенных слоев покрытия по составляет от 24 до 30 мкм

Результаты ставная спектрометрического анализа процессов послойного формирования твердого антифрикционного покрытие Molykote 3402 C LF и MODENGY 1003 представлено на рисунке 4 и рисунке 5 (на подставленных рисунках выделено только спектрограмма исходного образца и спектрограммы 1-ого, 2-ого, 3-его слоёв покрытия, четвертый слой не показан так как происходит наложение спектрограммы на предыдущие слои, и они становятся нечитаемыми). Сравнение ИК-спектров, полученных образцов с покрытием Molykote 3402 C LF и с покрытием MODENGY 1003 показывает, что на обработанных поверхностях не зависимо от количества нанесенных слоев (1 – исходный образец, 2 – 1-ый слой твердого антифрикционного покрытия, 3 – 2-ой слой; 4 – 3-ой слой) в области 450–500 $\text{cm}^{-1}$  имеются полосы поглощения валентных колебаний, относящиеся к концевым Mo=S, а в области 500–600  $\text{cm}^{-1}$  к валентным колебаниям связи S–S.

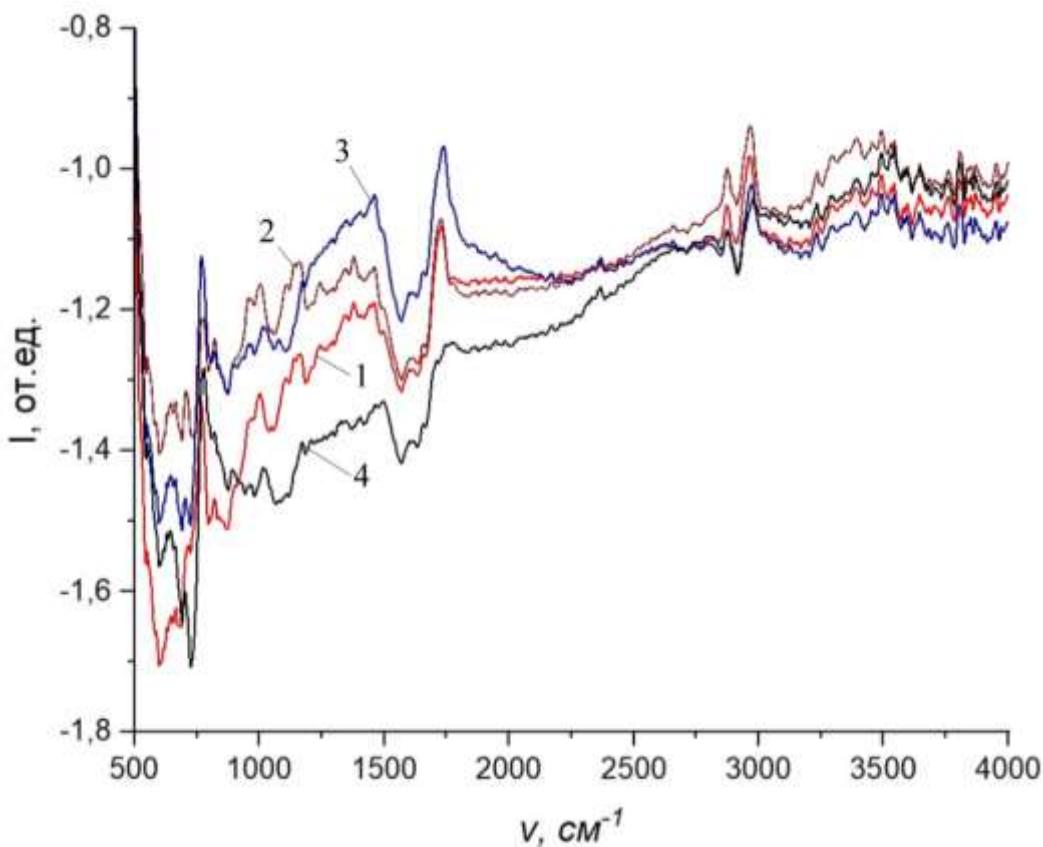
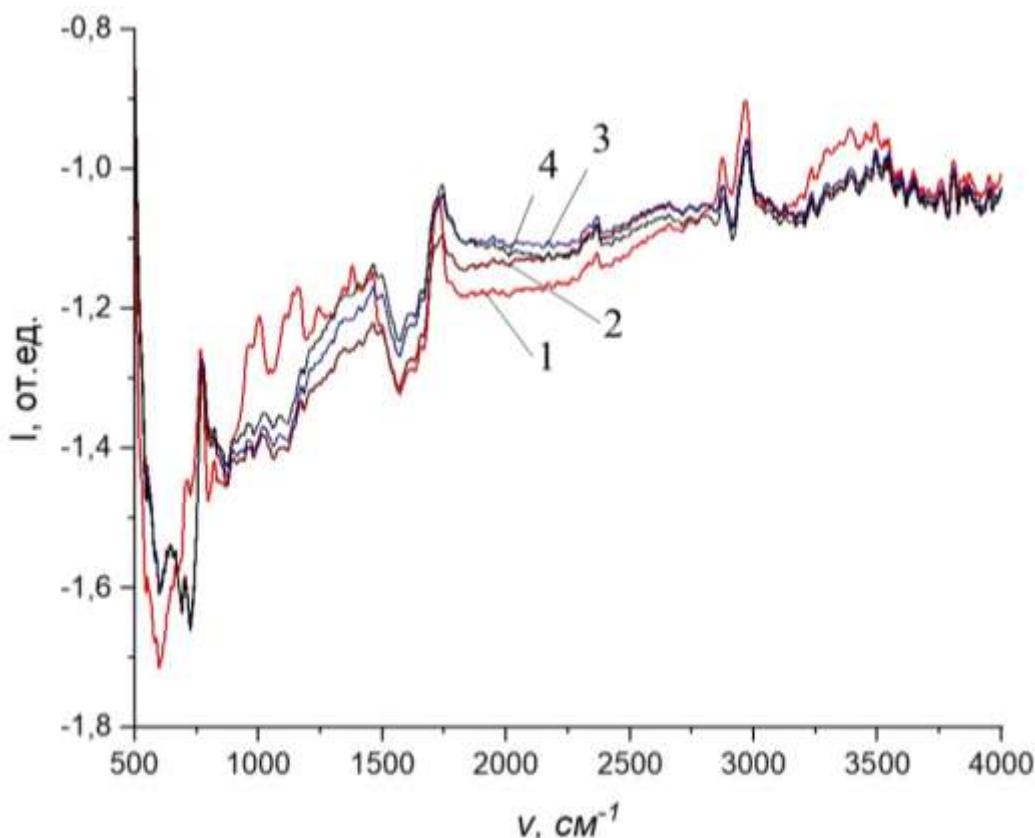


Рисунок 4 – ИК-спектрометрия поверхности образца с послойным нанесением Molykote 3402 C LF

Исследование микроповерхности основания до нанесения покрытия и после него позволило установить, что для формирования плотного антифрикционного слоя необходимо как минимум три слоя покрытия с суммарной толщиной  $>= 15$  мкм. Согласно проведенному сравнение ИК-спектров образцов было установлено, что твердое антифрикционное покрытие не вступает в химическую реакцию с материалом основы, а просто покрывает его плотным слоем после каждого последующего нанесения.



*Рисунок 5 – ИК-спектрометрия поверхности образца с послойным нанесением MODENGY 1003*

### **Выводы**

На основе анализа ранее проведенных исследований и новых полученных данных можно сформулировать следующие выводы:

- проведенные исследования показали, что процесс послойного формирования твердого антифрикционного покрытие Molykote 3402 C LF и MODENGY 1003 морфология поверхности по данным атомно силовой микроскопии показывает, незначительно различие в особенностях организации поверхности и параметрах характерных элементов ее образующих;
- в ходе проведения эксперимента было установлено, что для формирования плотного антифрикционного слоя необходимо как минимум три слоя покрытия с суммарной толщиной не менее 15 мкм.
- на основании сравнения ИК спектров образцов при послойном нанесении покрытий было установлено, что твердое антифрикционное покрытие не вступает в химическую реакцию с материалом основы, а просто покрывает его плотным слоем после каждого последующего нанесения.
- проведенные исследования показали, что процесс послойного формирования покрытия приводит к увеличению шероховатости поверхности образца.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Zhao Meng, Xue-feng Zhang, Jingchao Zhang, Bin Hu, Yun Yang Application study of nano-copper based composite anti-friction coating for corrosion resistant couplings // Journal of petroleum science And Engineering. Vol. 157. 2017. P. 1143-1147.
2. Yan Hao, Xiying Zhou, Jiajia Shao, Yukun Zhu. The influence of multiple fillers on friction and wear behavior of epoxy composite coatings // Surface and coatings technology. Vol. 362. 2019. P. 213-219.
3. Польцер Г., Майсснер Ф. Основы трения и изнашивания. М.: Машиностроение, 1984. 264 с.
4. H. Allmaier, C. Priestner, C. Six, H.H. Priebsch, C. Forstner, F. Novotny-Farkas Predicting friction reliably and accurately in journal bearings – A systematic validation of simulation results with experimental measurements // Tribology International. 2011. №44. P. 1151-1160.

5. Типей Н.Н., Константинеску В.Н., Ника А., Бицэ О. Подшипники скольжения. Расчёт, проектирование, смазка. Бухарест, 1964. 457 с.
6. Торская Е.В. Моделирование фрикционного взаимодействия тел с покрытиями: автореф. дис. ... д-ра. техн. наук. Москва. 2014. 47 с.
7. Chijia Wang, Huaiyuan Wang, Meiling Li, Zhanjian Liu, Ningzhong Bao. Anti-corrosion and wear resistance properties of polymer composite coatings: effect of oily functional fillers // Journal of the taiwan institute of chemical engineers. Vol. 85. 2018. P. 248-256.
8. Rodichev A.Y., Gorin A.V., Tokmakov N.V. Formation of film antifriction coatings on the friction surfaces of machine parts // IOP Conference series: materials science and engineering ICMTMTE. 2019, 2020. Vol. 709.
9. Зимон А.Д. Адгезия пленок и покрытий. М.: Химия, 1977. 345 с.
10. Gorin A.V., Rodichev A.Yu., Tokmakova M.A. Adhesive strength research of film antifriction coatings // Materials today: proceedings. Vol. 19. Part 5. 2019. P. 2329-23328.
11. Minaev A., Chizhikov R., Portnova O. Multifunctional Coatings for Gas-Lubricated Bearings Used in Marine Equipment // Procedia Engineering. 2017. Vol. 206. P. 746-751.
12. Gorin A.V., Rodichev A.Yu., Tokmakova M.A. Adhesive strength research of film antifriction coatings // Materials today: proceedings. Vol. 19. P. 5. 2019. P. 2329-23328.
13. Антифрикционные покрытия MODENGY - современная 6 технология твердой смазки для трубопроводной арматуры и нефтегазового оборудования // Трубопроводная арматура и оборудование. 2023. №3(126). С. 6-8. EDN VHMZES.
14. Родичев А.Ю., Ху Д., Прудников М.И. [и др.]. Триботехнические свойства поверхностей трения с твердыми антифрикционными покрытиями // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2024. №3(365). С. 118-125. DOI 10.33979/2073-7408-2024-365-3-118-125. EDN TLWOFJ.
15. Новиков А.Н., Родичев А.Ю., Токмакова М.А. Увеличение энергоэффективности подшипниковых узлов нанесением твердых антифрикционных покрытий // Энерго- и ресурсосбережение - XXI век: Материалы XX международной научно-практической конференции. Орел: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, 2022. С. 146-150. EDN QCTVME.
16. Прудников М.И. Применение антифрикционных твердосмазочных покрытий modengy для деталей запорных клапанов ТЭС // Обеспечение и повышение качества изделий машиностроения и авиакосмической техники: Материалы Международной научно-технической конференции. Брянск: Брянский государственный технический университет. 2020. С. 101-105. EDN ADTETZ.
17. Категова Д.А. Использование твёрдых смазок и эпилам для повышения триботехнических свойств поверхности деталей машин // Наука. Технологии. Инновации: XV Всероссийская научная конференция молодых ученых, посвященная Году науки и технологий в России. Ч. 3. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет. 2021. С. 331-335. EDN NEXCQO.
18. MOLYKOTE [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dupont.com/products/molykote-3402-c-lf-anti-friction-coating.html>.
19. Downing Corning. Руководство по выбору антифрикционных покрытий Molykote [Электронный ресурс]. Корпорация Downing Corning. 2008. Форма 71-02508-22. URL: <http://atf.ru/>.
20. MODENGY [Электронный ресурс]. URL: <https://modengy.ru/catalog/antifriktsionnye-tverdosmazochnye-pokrytiya/1003/?ysclid=m71q3tpw61311983483>.
21. ALEO [Электронный ресурс]. URL: <https://aleo.com.ru/product/modengy/antifriktsionnoe-pokrytie/modengy-1003/?ysclid=m71q796eal795308347>.

**Родичев Алексей Юрьевич**

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

A.Yu. RODICHEV

**ASPECTS OF FORMATION OF SOLID LUBRICANT ANTI-FRICTION COATINGS IN THE PROCESS OF ITS APPLICATION DURING MAINTENANCE AND REPAIR OF MOTOR VEHICLES**

**Abstract.** The article presents a study of layer-by-layer application of solid lubricant antifriction coatings Molykote 3402 C LF and MODENGY 1003 on the surface of a product, using a comprehensive approach that includes: studying the structure, composition, mechanical and tribological properties. Based on the studies, conclusions were made about the formation process and the quality of the resulting antifriction layer. Recommendations are given for the

*use of solid antifriction coatings in the maintenance and repair of automotive equipment.*

**Keywords:** experimental studies, layer-by-layer application, solid lubricant antifriction coatings, roughness

## BIBLIOGRAPHY

1. Zhao Meng, Xue-feng Zhang, Jingchao Zhang, Bin Hu, Yun Yang Application study of nanocopper based composite anti-friction coating for corrosion resistant couplings // Journal of petroleum science And Engineering. Vol. 157. 2017. P. 1143-1147.
2. Yan Hao, Xiying Zhou, Jiajia Shao, Yukun Zhu. The influence of multiple fillers on friction and wear behavior of epoxy composite coatings // Surface and coatings technology. Vol. 362. 2019. P. 213-219.
3. Pol`tsier G., Mayssner F. Osnovy treniya i iznashivaniya. M.: Mashinostroenie, 1984. 264 s.
4. H. Allmaier, C. Priestner, C. Six, H.H. Priebsch, C. Forstner, F. Novotny-Farkas Predicting friction reliably and accurately in journal bearings - A systematic validation of simulation results with experimental measurements // Tribology International. 2011. №44. P. 1151-1160.
5. Tipey N.N., Konstantinesku V.N., Nika A., Bitse O. Podshipniki skol`zheniya. Raschit, proektirovaniye, smazka. Bukharest, 1964. 457 s.
6. Torskaya E.V. Modelirovanie friktsionnogo vzaimodeystviya tel s pokrytiyami: avtoref. dis. ... d-ra. tekhn. nauk. Moskva. 2014. 47 s.
7. Chijia Wang, Huaiyuan Wang, Meiling Li, Zhanjian Liu, Ningzhong Bao. Anti-corrosion and wear resistance properties of polymer composite coatings: effect of oily functional fillers // Journal of the taiwan institute of chemical engineers. Vol. 85. 2018. P. 248-256.
8. Rodichev A.Y., Gorin A.V., Tokmakov N.V. Formation of film antifriction coatings on the friction surfaces of machine parts // IOP Conference series: materials science and engineering ICMTMTE. 2019, 2020. Vol. 709.
9. Zimon A.D. Adgeziya plenok i pokrytiy. M.: Himiya, 1977. 345 s.
10. Gorin A.V., Rodichev A.Yu., Tokmakova M.A. Adhesive strength research of film antifriction coatings // Materials today: proceedings. Vol. 19. Part 5. 2019. P. 2329-23328.
11. Minaev A., Chizhikov R., Portnova O. Multifunctional Coatings for Gas-Lubricated Bearings Used in Marine Equipment // Procedia Engineering. 2017. Vol. 206. P. 746-751.
12. Gorin A.V., Rodichev A.Yu., Tokmakova M.A. Adhesive strength research of film antifriction coatings // Materials today: proceedings. Vol. 19. P. 5. 2019. P. 2329-23328.
13. Antifriktionskiye pokrytiya MODENGY - sovremennaya 6 tekhnologiya tverdoy smazki dlya truboprovodnoy armatury i neftegazovogo oborudovaniya // Truboprovodnaya armatura i oborudovanie. 2023. №3(126). S. 6-8. EDN VHMZES.
14. Rodichev A.YU., Hu D., Prudnikov M.I. [i dr.]. Tribotekhnicheskie svoystva poverkhnostey treniya s tverdymi antifriktionsnymi pokrytiyami // Fundamental`nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. 2024. №3(365). S. 118-125. DOI 10.33979/2073-7408-2024-365-3-118-125. EDN TLWOFJ.
15. Novikov A.N., Rodichev A.YU., Tokmakova M.A. Uvelichenie energoeffektivnosti podshipnikovykh uzelov naneseniem tverdykh antifriktionsnykh pokrytiy // Energo- i resursosberezenie - XXI vek: Materialy XX mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Orel: Orlovskiy gosudarstvennyy universitet im. I.S. Turgeneva, 2022. S. 146-150. EDN QCTVME.
16. Prudnikov M.I. Primenenie antifriktionsnykh tverdosmazochnykh pokrytiy modengytm dlya detaley zapornykh klapanov TES // Obespechenie i povyshenie kachestva izdeliy mashinostroeniya i aviakosmicheskoy tekhniki: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii. Bryansk: Bryanskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet. 2020. S. 101-105. EDN ADTETZ.
17. Kategova D.A. Ispol`zovanie tviordykh smazok i epilam dlya povysheniya tribotekhnicheskikh svoystv poverkhnosti detaley mashin // Nauka. Tekhnologii. Innovatsii: XV Vserossiyskaya nauchnaya konferentsiya molodykh uchenykh, posvyashchennaya Godu nauki i tekhnologiy v Rossii. CH. 3. Novosibirsk: Novosibirskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet. 2021. S. 331-335. EDN NEXCQO.
18. MOLYKOTE [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.dupont.com/products/molykote-3402-c-lf-anti-friction-coating.html>.
19. Downing Corning. Rukovodstvo po vyboru antifriktionsnykh pokrytiy Molykote [Elektronnyy re-surs]. Korporatsiya Downing Corning. 2008. Forma 71-02508-22. URL: <http://atf.ru/>.
20. MODENGY [Elektronnyy resurs]. URL: <https://modengy.ru/catalog/antifriktionsye-tverdosmazochnye-pokrytiya/1003/?ysclid=m71q3tpw61311983483>.
21. ALEO [Elektronnyy resurs]. URL: <https://aleo.com.ru/product/modengy/antifriktionsnoe-pokrytie/modengy-1003/?ysclid=m71q796eal795308347>.

**Rodichev Aleksey Yrievich**

Orel State University

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

Candidate of Technical Sciences

E-mail: rodfox@yandex.ru

УДК 656.05

doi:10.33979/2073-7432-2025-1-3(88)-34-41

Л.Е. КУЩЕНКО, С.В. КУЩЕНКО, А.А. КРАВЧЕНКО, Д.И. АНДРЮШИНА

## ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

**Аннотация.** В статье рассмотрены климатические факторы, влияющие на надежность и долговечность транспортных средств. В работе проанализированы различные климатические факторы, мероприятия по адаптации к экстремальным условиям, а также организационные и эксплуатационные мероприятия. Современные достижения в области материаловедения и инженерии позволяют создавать более надёжные и долговечные транспортные средства, однако для эффективного использования этих достижений требуется глубокое понимание механизмов воздействия климатических факторов на технику.

**Ключевые слова:** климатический фактор, транспортные средства, детали, дорожно-транспортные происшествия, безопасность дорожного движения

### **Введение**

Транспорт является основой современной экономики, обеспечивая доставку товаров, и сырья, а также перемещение людей. Надёжность и долговечность транспортных средств имеют непосредственное влияние на эффективность и устойчивость всей транспортной системы. Российская Федерация имеет разнообразные климатические условия, среди которых арктические, умеренные, тропические и горные регионы. Эксплуатация транспортных средств в таких условиях требует особого подхода и тщательного изучения влияния климата на их работоспособность.

Научные исследования [4, 6, 7, 12] подтверждают, что климатические условия могут приводить к ускоренному износу деталей, возникновению коррозионных процессов, изменению физико-механических свойств использованных материалов и иным негативным последствиям. Данные явления в особенности опасны в экстремальных условиях, таких как низкие температуры, высокая влажность, или же, например, при резких перепадах высот. В результате увеличиваются риски вероятности возникновения дорожно-транспортных происшествий (ДТП), возрастает частота простоев и тем самым рост затрат на содержание техники [10, 11].

### **Материал и методы**

С целью минимизации негативного воздействия климатических условий на механизмы, технологические процессы, а также на транспортные средства необходимы мероприятия, связанные с адаптацией механизмов, процессов и технологий к конкретным условиям их функционирования. При этом необходимо осуществлять выбор соответствующих материалов, регулировки систем, осуществление особого технологического обслуживания и применение современных технологий с целью мониторинга и прогнозирования состояния транспорта. Немаловажно принимать во внимание характерные черты каждого региона и разрабатывать индивидуальные стратегии эксплуатации, для того чтобы гарантировать наибольшую безопасность и долговечность техники.

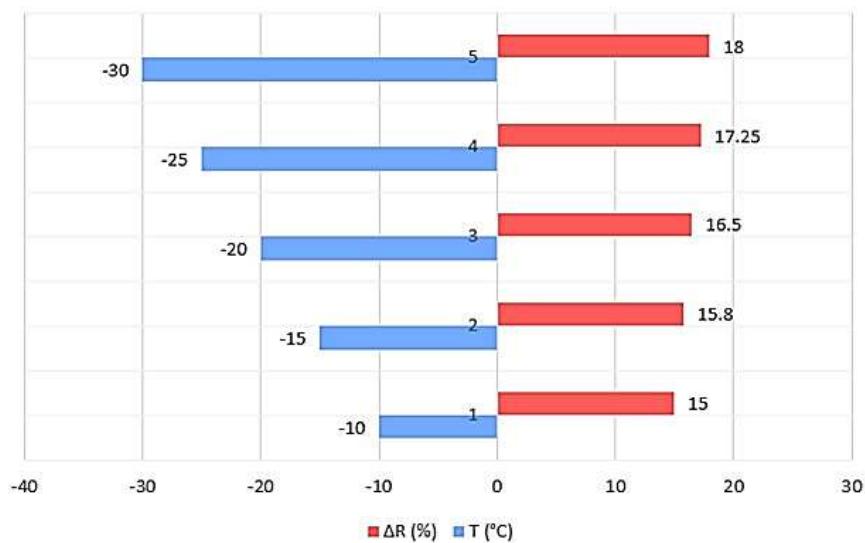
В условиях холодного климата, высокой влажности или резких перепадов температур возрастает угроза раннего износа деталей, появление коррозионных процессов и иных неблагоприятных воздействий на технику. Все это приводит к повышению расходов на восстановление и замену оборудования, а также к простоям [15].



*Рисунок 1 – Климатические факторы влияющие на транспортное средство*

Функционирование двигателя внутреннего сгорания и трансмиссии в условиях низких температур существенно отличается от работы в тёплом климате, что приводит к снижению мощности, вязкости моторного масла и увеличению расхода топлива. Важно учитывать эти факторы при эксплуатации транспортных машин в холодном климате.

Для наглядного примера представлена гистограмма зависимости между расходом топлива и температурой окружающей среды (рис. 2). Прослеживается зависимость, близкая к линейной: с понижением температуры увеличивается расход топлива. Например, при  $-30^{\circ}\text{C}$  потребление топлива увеличивается на 18 %, а при  $-10^{\circ}\text{C}$  - на 15 %. Увеличение расхода топлива связано с потребностью прогрева двигателя, повышением вязкости масла и увеличением аэродинамического сопротивления. Следует учитывать, что данные могут иметь погрешность, а реальный расход топлива способен колебаться в зависимости от стиля управления транспортным средством и состояния автомобиля. Данные рассчитывались для легковых автомобилей с двигателем внутреннего сгорания, для других видов транспорта, например, для дизельных автомобилей зависимость может быть иной [2, 19].



*Рисунок 2 – Зависимость расхода топлива от температуры окружающего воздуха*

### Теория

Рассмотрим основные климатические факторы, которые оказывают существенное влияние на надёжность и долговечность транспортных средств. Каждый из этих факторов будет описан отдельно, с указанием его специфики и способа воздействия на технику.

Температура воздуха оказывает одно из главных факторов воздействия на транспортные средства (рис. 3). Она влияет на физические свойства материалов, используемых для

производства деталей, компонентов и систем техники, а также на характеристики топлива и смазочные материалы [5].



Рисунок 3 – Влияние изменения температура на транспортные средства

Уровень влажности воздуха является важным фактором, влияющим на надежность и долговечность транспортных средств. Он также влияет на коррозионную устойчивость материалов и способность электроники противостоять внешним воздействиям [18].

Принятие мер для защиты от влажной среды может существенно увеличить срок эксплуатации автомобиля и гарантировать его надежную работу (рис. 4).



Рисунок 4 – Влияние изменения влажности на транспортные средства

Отметим то, что осадки, такие как дождь, снегопад, гололёд и град, оказывают механическое и химическое воздействие на автотранспортные механизмы [13, 16].

Во время дождя происходит ухудшение сцепления шин с поверхностью дороги, что увеличивает риск возникновения заноса и приводит к потере управления, а так же при попадании влаги в механизмы, большая вероятность появления коррозии. Снежные массы могут забивать вентиляционные отверстия и препятствовать стандартной циркуляции воздуха. Гололёд на дорогах создаёт небезопасные условия для управления транспортным средством, увеличивая вероятность возникновения ДТП, в свою очередь град повреждает лакокрасочное покрытие и стекла, что снижает защитные функции кузова.

Солнечные лучи содержат ультрафиолетовое излучение, которое в свою очередь оказывает разрушительное воздействие на материалы, используемые в конструкциях транспортных средств (рис. 5).



*Рисунок 5 – Влияние солнечных лучей на транспортные средства*

Скорость и направление ветра оказывают значительное воздействие на характеристики транспортных средств, воздействуя на аэродинамическое сопротивление, устойчивость, потребление топлива и безопасность дорожного движения (БДД). Учет этих факторов и принятие определенных мер дает возможность уменьшить негативные последствия и обеспечить наиболее безопасную и эффективную эксплуатацию транспортных средств (рис. 6) [3].



*Рисунок 6 – Влияние ветра на транспортные средства*

Климатические факторы оказывают значительное и многогранное воздействие на надёжность и долговечность транспортных средств. Разнообразие погодных условий, содержащее температурные колебания, влажность, солнечную радиацию, ветровые нагрузки, атмосферное давление и химические загрязнения, обуславливает широкий спектр неблагоприятных последствий для различных узлов и систем транспортных средств [1].

Мероприятия по адаптации к экстремальным условиям [8, 9]:

1) применение специализированных сплавов, композитов и полимеров, способных переносить высокие и низкие температуры без потери своих свойств. Например, использование термостойких резин и пластмасс, а кроме того, специализированных трансмиссионных смазочных материалов;

2) использование антикоррозийных покрытий, нержавеющих сталей, а также катодная защита;

3) нанесение специальных лакокрасочных покрытий, устойчивых к ультрафиолетовому излучению, механическим воздействиям и химическим реагентам;

- 4) применение предпусковых подогревателей, термостатов, подогревателей топливо-проводов и фильтров с целью предоставления надёжного запуска двигателя при низких температурах;
- 5) использование турбонаддува с целью компенсации значительной потери мощности, при высоком атмосферном давлении, а так же специализированные системы охлаждения для работы в жарком климате;
- 6) использование синтетических масел вместе с широким диапазоном рабочих температур, а также морозостойких и термостойких смазок для узлов трансмиссии и ходовой части;
- 7) применение керамических или других износостойких материалов с целью повышения срока службы тормозной системы в трудных условиях;
- 8) использование зимних, летних или все сезонных шин с соответствующим рисунком протектора и составом резины, а также шин с высокой проходимостью;
- 9) использование герметичных разъемов, блоков управления и других электронных компонентов с целью защиты от влажности, пыли и грязи;
- 10) применение подогревательных компонентов с целью обеспечения стабильной работы аккумуляторов при низких температурах.

К организационным и эксплуатационным мероприятиям относятся следующие [14, 17]:

- 1) соблюдение регламентов технического обслуживания, своевременная замена масла, фильтров, промышенных жидкостей и иных расходных материалов; проведение дополнительного обслуживания перед наступлением зимнего или летнего сезона; использование диагностического оборудования с целью контроля состояния двигателя, трансмиссии, тормозной системы и иных элементов;
- 2) использование масел с соответствующей вязкостью и температурным диапазоном, морозостойких и термостойких жидкостей, и кроме того, использование топлива, соответствующего требованиям производителя и климатическим условиям;
- 3) учёт особенностей дорожного покрытия, погодных условий и других факторов при управлении транспортным средством; обучение водителей навыкам безопасного управления транспортным средством в разных обстоятельствах; регулярная проверка давления в шинах, уровня технических жидкостей и других параметров;
- 4) использование специализированного инструмента и оборудования с целью ремонтных работ и обслуживания автомобилей в различных условиях; формирование концепции для создания системы технической поддержки с целью оперативного ремонта и обслуживания автомобилей в любых обстоятельствах.

### ***Результаты и обсуждения***

В ходе исследования был проведен комплексный анализ воздействия климатических факторов на надежность и долговечность транспортных средств. В данной секции рассматриваются основные результаты, а также обсуждаются возможные пути решения выявленных проблем.

### ***Выходы***

Таким образом, анализ показал, что климатические факторы оказывают большое влияние на все ключевые узлы и системы транспортных средств. Двигатель, трансмиссия, тормозная система, ходовая часть, кузов и электрооборудование подвергаются воздействию, что приводит к снижению их эксплуатационных характеристик и уменьшению срока службы. В частности, были отмечены проблемы с охлаждением двигателей при высоких температурах, замерзание смазочных материалов при низких, коррозия металлических компонентов при высокой влажности, а также разрушение лакокрасочных покрытий под воздействием солнечной радиации. Были предложены мероприятия по адаптации к экстремальным условиям, а также организационные и эксплуатационные мероприятия.

### ***Благодарность***

Работа выполнена в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов «Приоритет 2030» с использованием оборудования на базе Центра высоких техноло-

гий БГТУ им. В.Г. Шухова.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Chainikov D., Chikishev E., Anisimov I., Gavaev A. Influence of ambient temperature on the CO<sub>2</sub> emitted with exhaust gases of gasoline vehicles // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. №142. 012109.
2. Chikishev E., Chainikov D. Assessment of external factors influence on the fuel consumption of a diesel bus operating on a city route // Transportation Research Procedia. 2022. №61. P. 354-360.
3. Kushchenko L.E., Kravchenko A.A., Shatova J.S. Improving traffic safety and accident prediction at pedestrian crossings // CATPID-2020. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. Nalchik. P. 1-6.
4. Власов А.А. Теория транспортных потоков: Монография. Пенза: ПГУАС, 2014. 124 с.
5. Иванов А.С., Чикишев Е.М., Анисимов И.А. Низкие температуры и их влияние на показатели АТС // Автомобильная промышленность. 2015. №7. С. 11-14.
6. Каракулов Х.М., Арзиколов Р.Р. Оценка влияния различных климатических факторов на состояние автомобильных дорог и скорости движения автотранспортного средства // Научный Фокус.
7. Козлов В.Г., Скрыпников А.В., Абасов М.А., Никитин В.В., Самцов В.В. Влияние погодно-климатических факторов на системы комплекса «водитель-автомобиль-дорога-среда» // TRANSPORT. TRANSPORT FACILITIES. ECOLOGY.
8. Кущенко Л.Е., Добрынцева В.С., Королева Л.А. Влияние автомобильного транспорта на экологию // Инновационная наука. Уфа. 2018. №6. С. 20-22.
9. Кущенко Л.Е., Шатова Ю.С. Обеспечение безопасности на автомобильном транспорте // Безпека на транспорті – основа ефективної інфраструктури: проблеми та перспективи: Сб. IV Міжнародної науково-практичної конференції. Харків. 2019. С.24-27.
10. Кущенко Л.Е., Кущенко С.В., Новиков И.А., Воля П.А. Организация дорожного движения: учеб.пособие. Белгород: БГТУ. 2018. 205 с.
11. Кущенко Л.Е., Новописный Е.А., Новиков А.Н., Камбур А.С. Статистический анализ вероятности возникновения дорожно-транспортных происшествий на основе данных интеллектуальных транспортных систем Белгородской агломерации // Вестник гражданских инженеров. 2022. №2(85). С. 222-232.
12. Кущенко Л.Е., Новиков А.Н., Новиков И.А. Экологическая оценка выбросов вредных веществ на примере перекрестков города Белгорода // Вестник гражданских инженеров. СПбГАСУ. 2017. №5(64). С. 157-162.
13. Печатнова Е.В., Сафонов К.Э. Оценка влияния количества осадков на аварийность на дорогах вне населенных пунктов // Омск: Транспорт. С. 512- 521.
14. Родионов Ю.В., Мигачев В.А., Островская Е.А. Влияние сезонных условий эксплуатации автомобилей на показатели надежности // Научно-технический журнал. 2016. №1(52). С. 3-10.
15. Цыплакова Е.Г. Анализ климатических условий и их влияние на экологоэкономический ущерб при эксплуатации автотранспорта // Вестник Ленинградского государственного университета им. А.С. Пушкина. 2012. №4. Т. 6. С. 188-199.
16. Мусонов О.С., Маркина А.А., Лукашук О.А. Влияние природно-климатических условий на автотранспортные средства [Электронный ресурс] / URL: [https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/97668/1/978-5-7996-2972-4\\_2020\\_005.pdf](https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/97668/1/978-5-7996-2972-4_2020_005.pdf). С. 16-18.
17. Строительные машины и оборудование: Справочник [Электронный ресурс] / URL: <https://stroytechnics.ru/article/klimaticheskie-usloviya-vliyayushchie-na-nadezhnost-i-dolgovechnost-avtomobiliya>.
18. Как климат влияет на автомобиль: руководство для водителей [Электронный ресурс] / URL: <https://turniketpro.ru/d/kak-klimat-vliyayet-na-avtomobil-rukovodstvo-dlya-voditelej>
19. Якунин И.Н., Якунин Н.Н., Фаттахова А.Ф., Минатуллаев Ш.М. Результаты исследования эффективности климатических систем автомобиля в условиях жаркого климата // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2021. Т. 18. №6(82). С. 712-719.
20. Якунин Н.Н., Калимуллин Р.Ф., Коваленко С.Ю. Оценка приспособленности автомобильных двигателей к режимам пуска и прогрева по параметрам смазочного процесса в подшипниках коленчатого вала // Транспорт Урала. 2008. №2(17). С. 110-114 с.

### **Кущенко Лилия Евгеньевна**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

Д.т.н., профессор кафедры «Эксплуатация и организация движения автотранспорта»

E-mail: lily-041288@mail.ru

### **Кущенко Сергей Викторович**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

К.т.н., доцент кафедры «Эксплуатация и организация движения автотранспорта»  
E-mail: serega\_ku@mail.ru

**Кравченко Андрей Алексеевич**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова  
Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, 46  
К.т.н., доцент кафедры «Эксплуатация и организация движения автотранспорта»  
E-mail: kaa3181@mail.ru

**Андрюшина Диана Ивановна**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова  
Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, улица Костюкова, 46  
Магистрант  
E-mail: dana.danilova.01@mail.ru

---

L.E. KUSHCHENKO, S.V. KUSHCHENKO, A.A. KRAVCHENKO, D.I. ANDRYUSHINA

## THE INFLUENCE OF CLIMATIC FACTORS ON THE RELIABILITY AND DURABILITY OF VEHICLES

*Abstract.* The article considers climatic factors affecting the reliability and durability of vehicles. The paper analyzes various climatic factors, measures to adapt to extreme conditions, as well as organizational and operational measures. Modern advances in materials science and engineering make it possible to create more reliable and durable transport vehicles, however, effective use of these advances requires a deep understanding of the mechanisms of the impact of climatic factors on machinery.

**Keywords:** climatic factor, vehicles, details, traffic accidents, road safety

### BIBLIOGRAPHY

1. Chainikov D., Chikishev E., Anisimov I., Gavaev A. Influence of ambient temperature on the CO<sub>2</sub> emitted with exhaust gases of gasoline vehicles // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. №142. 012109.
2. Chikishev E., Chainikov D. Assessment of external factors influence on the fuel consumption of a diesel bus operating on a city route // Transportation Research Procedia. 2022. №61. R. 354-360.
3. Kushchenko L.E., Kravchenko A.A., Shatova J.S. Improving traffic safety and accident prediction at pedestrian crossings // CATPID-2020. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. Nalchik. R. 1-6.
4. Vlasov A.A. Teoriya transportnykh potokov: Monografiya. Penza: PGUAS, 2014. 124 s.
5. Ivanov A.S., Chikishev E.M., Anisimov I.A. Nizkie temperatury i ikh vliyanie na pokazateli ATS // Avtomobil'naya promyshlennost'. 2015. №7. S. 11-14.
6. Karakulov H.M., Arzikulov R.R. Otsenka vliyaniya razlichnykh klimaticheskikh faktorov na sostoyanie avtomobil'nykh dorog i skorosti dvizheniya avtotransportnogo sredstva // Nauchnyy Fokus.
7. Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Abasov M.A., Nikitin V.V., Samtsov V.V. Vliyanie pogodno-klimaticheskikh faktorov na sistemy kompleksa "voditel'-avtomobil'-doroga-sreda" // TRANSPORT. TRANSPORT FACILITIES. ECOLOGY.
8. Kushchenko L.E., Dobrydneva V.S., Koroleva L.A. Vliyanie avtomobil'nogo transporta na ekologiyu // Innovatsionnaya nauka. Ufa. 2018. №6. S. 20-22.
9. Kushchenko L.E., Shatova Y.U.S. Obespechenie bezopasnosti na avtomobil'nom transporte // Bezpeka na transporti - osnova efektivnoi infrastrukturi: problemi ta perspektivi: Sb. IV Mizhnarodnoi naukovo-praktichnoi konferentsii. Har'kov. 2019. S.24-27.
10. Kushchenko L.E., Kushchenko S.V., Novikov I.A., Volya P.A. Organizatsiya dorozhnoogo dvizheniya: ucheb.posobie. Belgorod: BGTU. 2018. 205 s.
11. Kushchenko L.E., Novopisnyy E.A., Novikov A.N., Kambur A.S. Statisticheskiy analiz veroyatnosti vozniknoveniya dorozhno-transportnykh proisshestviy na osnove dannykh intellektual'nykh transportnykh sistem Belgorodskoy aglomeratsii // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2022. №2(85). S. 222-232.
12. Kushchenko L.E., Novikov A.N., Novikov I.A. Ekologicheskaya otsenka vybrosov vrednykh veshchestv na primere perekrestkov goroda Belgoroda // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. SPbGASU. 2017. №5(64). S. 157-162.
13. Pechatnova E.V., Safronov K.E. Otsenka vliyaniya kolichestvo osadkov na avariynost' na dorogakh vne naselennykh punktov // Omsk: Transport. S. 512- 521.

14. Rodionov YU.V., Migachev V.A., Ostrovskaya E.A. Vliyanie sezonnnykh usloviy ekspluatatsii avtomobiley na pokazateli nadezhnosti // Nauchno-tehnicheskiy zhurnal. 2016. №1(52). S. 3-10.
15. Tsiplakova E.G. Analiz klimaticeskikh usloviy i ikh vliyanie na ekologoekonomicheskiy ushcherb pri ekspluatatsii avtotransporta // Vestnik Leningradskogo gosudarstvennogo universiteta im. A.S. Pushkina. 2012. №4. T. 6. S. 188-199.
16. Musonov O.S., Markina A.A., Lukashuk O.A. Vliyanie prirodno-klimaticeskikh usloviy na avto-transportnye sredstva [Elektronnyy resurs] / URL: [https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/97668/1/978-5-7996-2972-4\\_2020\\_005.pdf](https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/97668/1/978-5-7996-2972-4_2020_005.pdf). S. 16-18.
17. Stroitel'nye mashiny i oborudovanie: Spravochnik [Elektronnyy resurs] / URL: <https://stroytechnics.ru/article/klimaticheskie-usloviya-vliyayushchie-na-nadezhnost-i-dolgoechnost-avtomobilya>.
18. Kak klimat vliyaet na avtomobil': rukovodstvo dlya voditeley [Elektronnyy resurs] / URL: <https://turniketpro.ru/d/kak-klimat-vliyaet-na-avtomobil-rukovodstvo-dlya-voditelej>
19. YAkunin I.N., YAkunin N.N., Fattakhova A.F., Minatullaev SH.M. Rezul'taty issledovaniya effektivnosti klimaticeskikh sistem avtomobilya v usloviyakh zharkogo klimata // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta. 2021. T. 18. №6(82). S. 712-719.
20. YAkunin N.N., Kalimullin R.F., Kovalenko S.YU. Otsenka prisposoblennosti avtomobil'nykh dvigateley k rezhimam pуска i progreva po parametram smazochnogo protsessa v podshipnikakh kolenchatogo vala // Transport Urala. 2008. №2(17). S. 110-114 s.

**Kushchenko Liliya Evgen'evna**

Belgorod state technological university  
Adress: 308012, Russia, Belgorod  
Doctor of technical science  
E-mail: lily-041288@mail.ru

**Kushchenko Sergey Viktorovich**

Belgorod state technological university  
Adress: 308012, Russia, Belgorod  
Candidate of technical science  
E-mail: serega\_ku@mail.ru

**Kravchenko Andrey Alekseevich**

Belgorod state technological university  
Adress: 308012, Russia, Belgorod  
Candidate of technical science  
E-mail: kaa3181@mail.ru

**Andryushina Diana Ivanovna**

Belgorod state technological university  
Adress: 308012, Russia, Belgorod  
Master's student  
E-mail: dana.danilova.01@mail.ru

УДК 656.13

doi:10.33979/2073-7432-2025-1-3(88)-42-51

Р.Н. САФИУЛЛИН, Р.Р. САФИУЛЛИН, К.В. СОРОКИН, Н.С. КУЛАКОВ

## МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ВТОРИЧНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

**Аннотация.** Предлагаемые в статье результаты исследования позволяют решить задачу синхронизации и контроля работы системы зажигания в зависимости от параметров функционирования датчика детонации транспортных средств. На основе системного анализа способов воспламенения топливно-воздушной смеси силовых установок был разработан алгоритм работы автоматизированной системы управления накоплением энергии катушек зажигания транспортных средств. Предложено техническое решение по управлению и контролю технического состояния системы зажигания силовой установки транспортного средства на основе которого разработана модель автоматизированной системы управления накоплением энергии катушек зажигания транспортных средств.

**Ключевые слова:** адаптивно-управляемый метод, система зажигания, техническое состояние, силовая установка, транспортные средства

### Введение

Ужесточение экологических требований, предъявляемых к автомобилям, прогрессирование в области резервирования элементов и появление новых диагностических методов обеспечения транспортных средств привело к увеличению расхода материалов и материальных средств для поддержания их в должном состоянии, а также к увеличению надежности самих автотранспортных средств. Это привело к созданию и переходу к прогрессивной системе технического обслуживания и ремонта (ТОиР), основанной на определении фактического состояния узлов и агрегатов. Помимо перехода к прогрессивной системе технического обслуживания и ремонта транспортных средств происходит и развитие различных автоматизированных систем, датчиков, способных оперативно определять техническое состояние систем транспортных средств.

Одной из основных причин, приводящей к потере работоспособности транспортных средств является неисправности в силовой установке, а именно износ деталей системы зажигания. На основе износа деталей системы зажигания необходимо корректировать работу системы зажигания, подачу искры в камеру сгорания и синхронизацию работы катушек зажигания во время эксплуатации, так как в следствии данного износа увеличивается нагрузка на систему зажигания, двигатель, выхлопную систему и возрастает расход топлива, неравномерность работы силовой установки из-за критических неисправностей в системе зажигания. Исходя из этого, для предотвращения возникновения внезапных отказов, необходимо осуществлять постоянный мониторинг детонации в цилиндрах двигателя, а также производить оперативный контроль работы катушек зажигания и синхронизировать их работу на самом транспортном средстве во время эксплуатации. Следует увеличить число катушек зажигания до двух на одну свечу зажигания, это способствует улучшению мощностных и экологических характеристик двигателя, а одна из катушек будет служить в качестве резервного элемента.

### Материал и методы

Исходя из данного вопроса, был проведен анализ операций, применяемых для диагностирования системы зажигания двигателя внутреннего сгорания транспортных средств (рис. 1):



*Рисунок 1 - Способы диагностирования системы зажигания двигателя внутреннего сгорания транспортных средств*

Способы, применяемые для диагностирования системы зажигания двигателя внутреннего сгорания транспортных средств:

1) визуальный осмотр, наблюдение за работой двигателя: данный способ подразумевает проверку видимых и слышимых повреждений, например трещины, утечки, неравномерная работа двигателя, непривычный стук в области ДВС;

2) осмотр катушек зажигания. Последовательное наблюдение за состоянием катушек зажигания дает представление о их состоянии. Повреждение корпуса или изоляционных колпачков катушки может свидетельствовать о ее неисправности;

3) осмотр свечей зажигания. Последовательное наблюдение за состоянием свечей зажигания дает представление о их состоянии;

4) осмотр электронного блока управления двигателем. Определить наличие или отсутствие видимых повреждений, следов влаги и ее последствий, загрязнений контактов;

5) осмотр датчиков ДПКВ, DPRВ. Внешнее наблюдение за датчиками, сохранность их корпуса, отсутствие следов механических повреждений, загрязнений корпуса и контактов;

6) осмотр проводки и мест соединений элементов. Проводка и места ее соединений с элементами не должны иметь видимые разрывы, повреждения, замасливания, загрязнения;

7) на основании показаний, полученных с мультиметра: использование данного способа подразумевает замеры напряжения на выходах элементов системы зажигания. Чтобы измерить сопротивление первичной обмотки катушки зажигания, нужно щупы мультиметра соединить с положительным и отрицательным контактами. Для измерения сопротивления вторичной обмотки следует один щуп мультиметра совместить с плюсом катушки, а другой щуп совместить с выходом катушки зажигания, в месте соединения ее со свечей. Полученные значения необходимо сравнить с паспортными;

8) на основании показаний, полученных с датчиков детонации. Данный способ предусмотрен на автомобиле и может осуществляться с помощью датчиков, находящихся сверху двигателя, или с помощью ионных датчиков в катушках зажигания. Второй метод является более современным и точным, так как замеряет значение тока непосредственно в камере сгорания. Минусы данного метода заключаются в том, что, катушки с ионными датчиками более дорогие. Датчики детонации, расположенные сверху двигателя, фиксируют механические колебания и преобразуют их в электрические импульсы и после полученное значение сравнивается с нормальным. Принцип работы ионных датчиков основан на замере ионного тока после воспламенения топливно-воздушной смеси и сравнение его с нормативным значением.

Исходя из данных способов, можно частично производить мониторинг и оперативный контроль состояния системы зажигания двигателя внутреннего сгорания транспортных средств. При этом, основным недостатком существующих методов по контролю силовой

установки является сложность их реализации, большие трудозатраты, связанные с разбором узлов и агрегатов. Минусы диагностирования визуальными методами не исключают внутренних неисправностей в элементах, которые нельзя заметить с помощью осмотра. Также, существенным недостатком предложенных способов является невозможность корректировки системы зажигания во время эксплуатации автомобиля и вероятность внезапного отказа какого-либо элемента системы зажигания.

### Теория

Для реализации метода управления вторичным напряжением системы зажигания энергетических установок транспортных средств была разработана схема и модель комплекса. Основная задача адаптивно-управляемого метода накопления энергии катушек зажигания транспортных средств – повышение мощностных, экологических параметров двигателя и повышение надежности системы с помощью добавления резервного элемента.

Метод управления вторичным напряжением системы зажигания энергетических установок транспортных средств основывается на показаниях, получаемых с мультиметра и датчиков детонации. Для лучшего понимания системы был составлен алгоритм работы (рис. 2):

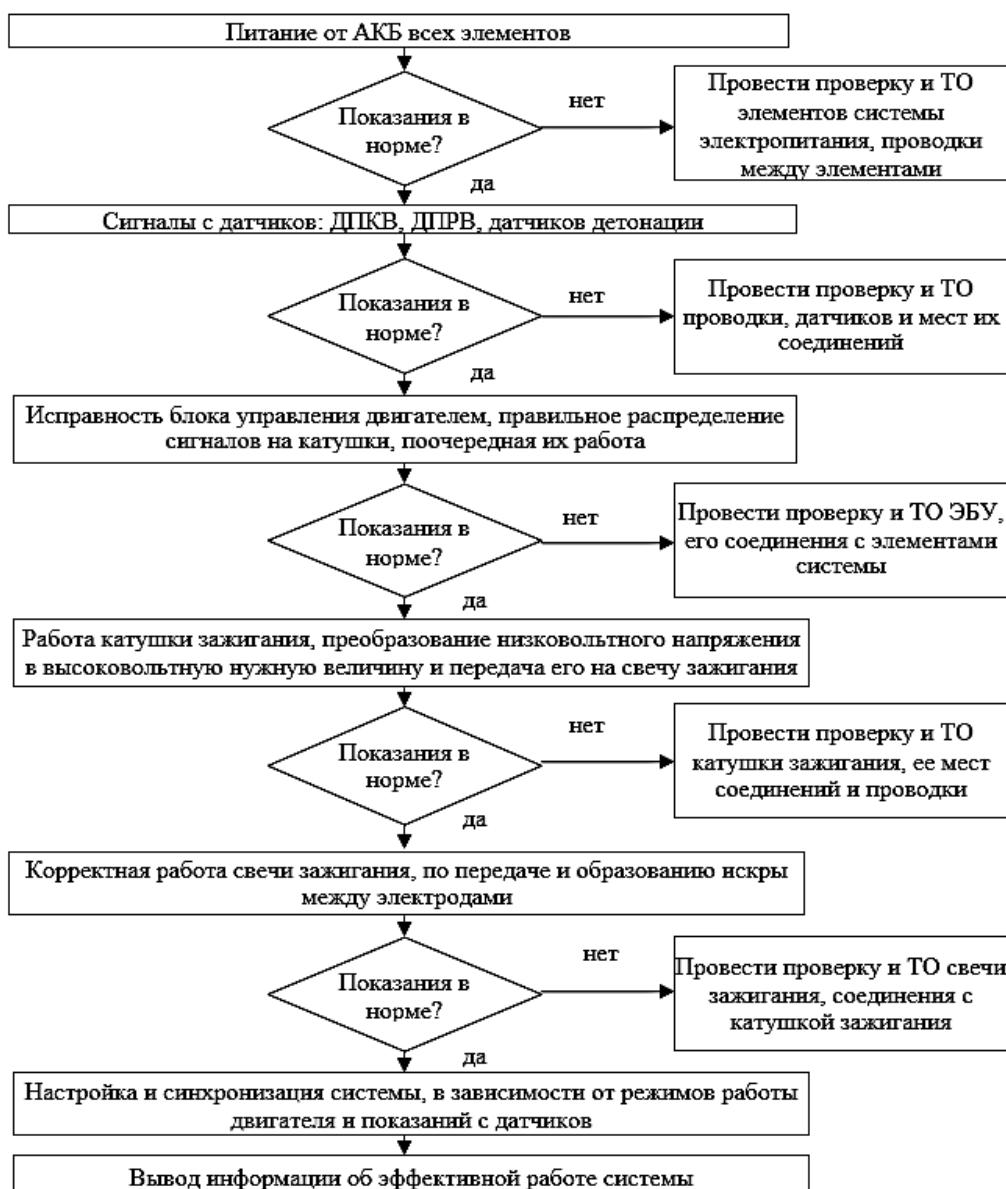


Рисунок 2 - Метод управления вторичным напряжением системы зажигания энергетических установок транспортных средств

При данной системе зажигания катушки подвержены более долгому накоплению энергии, из этого следует, что первичное напряжение увеличится. Катушка зажигания является повышающим трансформатором, следовательно, чем выше напряжение первичной обмотки  $U_1$  тем больше и напряжение вторичной обмотки. Зная это, можно предположить, что выходное напряжение  $U_2$  катушки будет больше. Это также следует из формулы коэффициента трансформации.

Коэффициент трансформации  $k$  равен отношению числа витков в первичной обмотке  $W_1$ , к числу витков вторичной обмотки  $W_2$ . Так же он равен отношению напряжения в первичной обмотке  $U_1$ , к напряжению во вторичной обмотке  $U_2$ .

$$k = \frac{W_1}{W_2} = \frac{U_1}{U_2}, \quad (1)$$

где  $W_1, W_2$  - Число витков первичной и вторичной обмотки;

$U_1, U_2$  - напряжение в первичной и вторичной обмотках.

Величина искры зависит от выходного напряжения, изменить его через коэффициент трансформации мы не можем, так как это связано со сложностями конструирования и с тем, что при уменьшении или увеличении числа витков в какой либо из обмоток меняется сопротивление проводника, так что изменение этих параметров не принесет пользы. Из этого следует что нужно менять напряжение. Можно предположить, что чем больше катушка находится в стадии накопления энергии, тем большую энергию она накопит  $W$ . Из этого следует, что напряжение первичной обмотки возрастет  $U_1$ , а исходя из формулы (1), напряжение вторичной обмотки  $U_2$  тоже возрастет. Так как катушка накапливает энергию магнитного поля и эта формула нам известна, получим:

$$W = \frac{LI^2}{2}, \quad (2)$$

где  $L$  – это индуктивность катушки;

$I$  – сила тока в катушке.

Зная формулу Закона Ома, получим:

$$I = \frac{U}{R}, \quad (3)$$

где  $U$  – это напряжение первичной обмотки;

$R$  – сопротивление катушки.

Совместив формулы (2) и (3) получим:

$$W = \frac{L \cdot U^2}{2 \cdot R^2}. \quad (4)$$

Из формулы (4) получим, что при увеличении энергии магнитного поля увеличится и первичное напряжение катушки.

Нормирование времени накопления энергии (или времени протекания тока в первичной цепи) в настоящее время осуществляется в системах зажигания с управлением от датчика холла.

Зная формулу времени нарастания первичного тока или времени накопления энергии:

$$t_{\text{нап}} = \frac{-L_1 \cdot \ln\left(1 - \frac{I_0 \cdot R_{\Pi}}{U_{\Pi} - U_{\text{кэнас}}}\right)}{R_{\Pi}}, \quad (5)$$

где  $I_0$  - ток ограничения;

$R_{\Pi}$  - суммарное сопротивление первичной цепи;

$U_{\Pi}$  – напряжение в системе электроснабжения;

$U_{\text{кэнас}}$  – напряжение насыщения участка к-э транзистора.

В нашем случае можно увеличить напряжение  $U_{\text{кэнас}}$ , этим самым мы увеличим время нарастания первичного тока.

Далее следует рассматривать ток разрыва. Под током разрыва понимают значение тока, протекающего в первичной цепи системы зажигания в момент закрытия выходного транзистора. Величина данного тока зависит от времени его протекания, а так же и от выходного напряжения катушки зажигания. Ток разрыва описывается формулой:

$$I_p = \frac{U_{\Pi} - U_{\text{кэнас}} * (1 - \exp\left(\frac{-t_{\text{нап}} * R_{\Pi}}{L_1}\right))}{R_{\Pi}}. \quad (6)$$

Напряжение вторичной обмотки связано с током разрыва следующей формулой:

$$U_2 = I_p * k_{\text{тр}} * k_{\text{св}} * k_y, \quad (7)$$

где  $k_{\text{тр}}$  - коэффициент трансформации катушки зажигания;

$k_{\text{св}}$  - коэффициент магнитной связи между первичной и вторичной обмотками катушки зажигания;

$k_y$  - коэффициент уменьшения тока разрыва, учитывающий потери энергии в транзисторе при его запирании.



Рисунок 3 - Зависимость тока разрыва от времени накопления энергии

Рассмотрим осциллограмму первичной обмотки катушки зажигания (рис. 4):

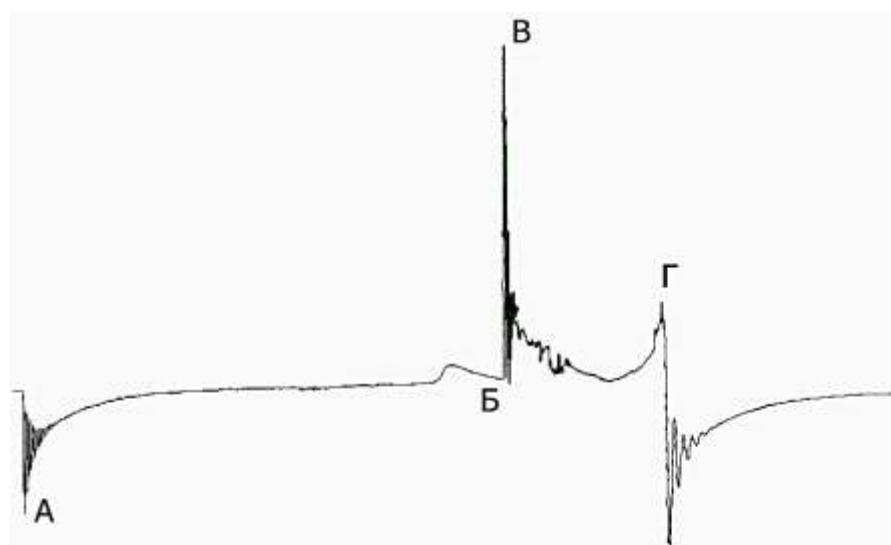


Рисунок 4 - Осциллограмма первичной обмотки катушки зажигания

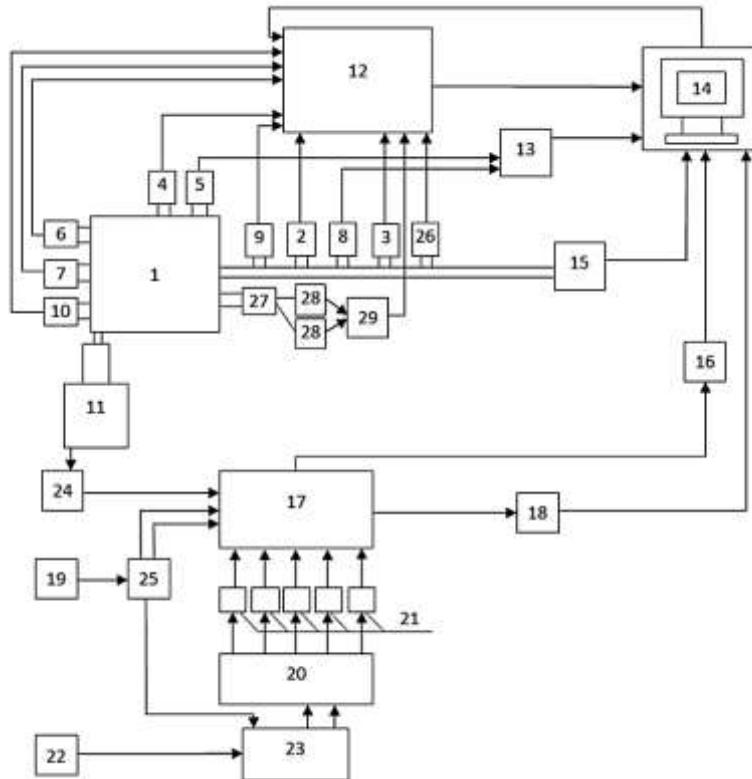
Промежуток АБ показывает эффективное накопление энергии, заряд первичной обмотки катушки зажигания в зависимости от времени в вольтах. Участок БВ показывает напряжение пробоя. ВГ – продолжительность искры.

Из осциллограммы (рис. 4) и формулы коэффициента трансформации (1) можно сделать вывод, что чем больше будет напряжение первичной обмотки (участок АБ), тем больше

будет напряжение пробоя (участок БВ), а следовательно, и напряжение во вторичной обмотке. Из осциллограммы видно, что со временем накопления энергии, напряжение увеличивается.

### **Результаты и обсуждение**

Метод управления вторичным напряжением системы зажигания энергетических установок транспортных средств лег в основу разработанного технического решения: автоматизированный комплекс накопления энергии в системе зажигания транспортного средства (рис. 5).



*Рисунок 5 - Автоматизированный комплекс накопления энергии  
в системе зажигания транспортного средства*

Таблица 1 - Элементы автоматизированного комплекса управления накоплением энергии в системе зажигания транспортного средства

1 – испытуемый двигатель;	2 – датчик частоты вращения коленчатого вала;
3 – датчик распределительного вала;	4 – датчик давления газа в цилиндре двигателя;
5 – датчик положения дроссельной за- лонки;	6 – датчик детонации;
7 – датчик угловых отметок коленчатого вала;	8 – датчик концентрации кислорода;
9 – датчик массового расхода воздуха;	10 – газоанализатор вредных выбросов продуктов сгорания;
11 – блок управления двигателем;	12 – электронный блок управления;
13 – аналогово-цифровой преобразователь;	14 – персональный компьютер с монитором;
15 – нагружающее устройство;	16 – блок управления;
17 – модель электронного блока управ- ления;	18 – интерфейс связи;
19 – имитатор ключа зажигания;	20 – генератор-имитатор;
21 – коммутатор;	22 – блок задания режимов;
23 – устройство управления работой;	24 – устройство сопряжения блока управления двигателя и электронного блока управления;
25 – устройство сопряжения электрон- ного блока управления и устройства управления работой;	26 – датчик температуры окружающего воздуха;
27 – свеча зажигания;	28 – катушка зажигания;
29 – блок обработки данных.	

Данное техническое решение отличается от прототипа тем, что к свече зажигания, расположенной в резьбовом отверстии сверху двигателя, дополнительно установлены катушки зажигания, входы которых соединены с выходом свечи зажигания, блок обработки данных, выход которого соединен с выходом электронного блока управления с помощью кабеля.

Реализация автоматизированного комплекса накопления энергии в системе зажигания транспортного средства позволит произвести горячее резервирование катушек зажигания и повышение эффективности работы двигателя, его надежности, экологических характеристик, за счет улучшения параметров искровых разрядов. Результаты работы имеют важное значение для автомобильной отрасли, так как повышают эксплуатационные характеристики транспортных средств. Применение данных систем возможно не только на большом количестве обычной автомобильной техники, но и на специализированных транспортных средствах в самых различных отраслях.

### **Выходы**

В результате данного исследования были проанализированы технические решения применяемые для диагностирования системы зажигания двигателя внутреннего сгорания транспортных средств. На основании изученных технических решений был разработан алгоритм работы системы зажигания с адаптивно-управляемым методом накопления энергии катушек зажигания транспортных средств, который позволяет:

- производить мониторинг технического состояния системы зажигания транспортного средства;
- производить корректировку момента воспламенения топливно-воздушной смеси на основания показаний, получаемых с датчика детонации;
- повысить надежность транспортного средства, за счет внедрения резервирующей катушки зажигания.

Метод управления вторичным напряжением системы зажигания энергетических установок транспортных средств лежит в основе разработанного технического решения: автоматизированный комплекс накопления энергии в системе зажигания транспортного средства, который позволяет произвести горячее резервирование катушек зажигания и повышение эффективности работы двигателя, его надежности, экологических характеристик, за счет улучшения параметров искровых разрядов. Результаты исследования, а также разработанное техническое решение позволяют повысить надежность транспортного средства, а также улучшить экологические характеристики транспортных средств, за счет большей накопленной энергии в катушках зажигания.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс: Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1988. 128 с.
2. Гэри М., Джонсон Д. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи: Монография. М.: Мир, 1982. 420 с.
3. Джоффрион А., Дайер Дж., Файнберг А. Решение задач оптимизации при многих критериях на основе человеко-машинных процедур // Вопросы анализа и процедуры принятия решений. М.: Мир. 1976.
4. Сафиуллин Р.Н., Сафиуллин Р.Р., Ефремова В.А. Метод комплексной оценки бортовых информационно-управляющих систем на горных машинах // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2023. №9-1. С. 49-63. DOI: 10.25018/0236/1493/2023/91049.
5. Николаев В.И., Брук В.М. Системотехника: методы и приложения. Л.: Машиностроение, 1985. 199 с.
6. Подиновский В.В., Гаврилов В.М. Оптимизация по последовательно применяемым критериям. М.: Советское радио, 1975. 192 с.
7. Руя Б. Проблемы и методы принятия решения в задачах со многими целевыми функциями // Вопросы анализа и процедуры принятия решений. М.: Мир, 1976.
8. Борисов С.В., Колтунова Е.А., Кладиев С.Н. Совершенствование структуры имитационной модели тягового асинхронного электропривода рудничного электровоза // Записки Горного института. 2021. Т. 247. С. 1-8. DOI: 10.31897/PMI.2021.1.12.
9. 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.

10. Назарычев А.Н., Дяченок Г.В., Сычев Ю.А. Исследование надежности тягового электропривода карьерных самосвалов на основе анализа отказов его функциональных узлов // Записки Горного института. 2023. Т. 261. С. 363-373.
11. Курганов В.М., Грязнов М.В., Колобанов С.В. Оценка надежности функционирования экскаваторно-автомобильных комплексов в карьере // Записки Горного института. 2020. Т. 241. С. 10. DOI: 10.31897/pmi.2020.1.10.
12. 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.
13. Бааке Э., Шпенст В.А. Последние научные исследования по электротермическим металлургическим процессам // Записки Горного института. 2019. Т. 240. С. 660-668. DOI: 10.31897/PMI.2019.6.660.
14. Система экологического мониторинга как подсистемы интеллектуальной транспортной системы // Организация дорожного движения и безопасность на дорогах европейских городов: материалы Международной молодежной научно-практической конференции. Орел: ВГБОУ ВПО «Государственный университет - учебно-научно-производственный комплекс», 2014. Р. 46-49. EDN UTHTS.
15. Комаров В.В., Гараган С.А. Интеллектуальные задачи телематических транспортных систем и интеллектуальная транспортная система // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2012. Т. 6. №4. С. 34-38. EDN PWMAPZ.
16. Сафиуллин Р.Н., Сафиуллин Р.Р., Сорокин К.В. Методы внедрения систем удалённого диагностирования пассажирского транспорта в городских агломерациях // Технико-технологические проблемы сервиса. 2023. №4(66). С. 18-24. EDN FXOCET.
17. Fedotov Vitaly N., Chudakova Natalia V., Ismailov Ramin. Automation of the technological process of spare parts at the car service company // E3S Web of Conferences. 2023. P. 402. DOI: 10.1051/e3sconf/202340210009.
18. Won S.H., Haas F.M., Dooley S., Edwards T., Dryer F.L. Reconstruction of chemical structure of real fuel by surrogate formulation based upon combustion property targets [Электронный ресурс] / Combustion and Flame. 2017. №183. P. 39-49. URL: <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2017.04.032>.
19. Yu L., Zhao C., Liu S., Di,M. Alkane Influence of Combustion Products in Polyethylene and Gasoline [Электронный ресурс] / Procedia Engineering. 2013. №52. P. 566-570. URL: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.0>.
20. Ramavath S., Suryawanshi S.R. Optimal Prediction of Shear Properties in Beam-Column Joints Using Machine Learning Approach. International Journal of Engineering. 2024. №37(1). P. 67-82. doi: 10.5829/ije.2024.37.01a.07.
21. Ghaderi F., Toloei A., Ghasemi R. Formation Control and Obstacle Avoidance of a Multi-Quadrotor System Based on Model Predictive Control and Improved Artificial Potential Field // International Journal of Engineering. 2024. №37(1). P. 115-126. doi: 10.5829/ije.2024.37.01a.11.
22. Automated system for remote diagnostics of the technical condition of vehicles based on a matrix QR code: pat. Russian Federation. №2792386 / Safiullin R.N., Safiullin R.R., Ungefuk A.A., Sorokin K.V., Tian Haotian, 2023, Byul. №9.
23. Gaile A.A., Vereshchagin A.V., Klement'ev V.N. Refining of diesel and ship fuels by extraction and combined methods. Part 1. Use of ionic liquids as extractants. Russ. J. Appl. Chem. 2019. №92. P. 453-475. DOI:10.1134/S1070427219040013.
24. Gaile A.A., Vereshchagin A.V., Klement'ev V.N. Refining of diesel and ship fuels by extraction and combined methods. Part 2. Use of organic solvents as extractants. Russ. J. Appl. Chem. 2019. №92. P. 583-595. DOI:10.1134/S107042721905001X.

**Сафиуллин Равиль Нуруллович**

Санкт-Петербургский Горный университет императрицы Екатерины II  
Адрес: 199106, Россия, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, д. 2  
Д.т.н., профессор кафедры ТТПиМ  
Email: safravi@mail.ru

**Сафиуллин Руслан Равиллович**

Санкт-Петербургский Горный университет императрицы Екатерины II  
Адрес: 199106, Россия, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, д. 2  
Доцент кафедры ТТПиМ  
Email: safyllin@yandex.ru

**Сорокин Кирилл Владиславович**

Санкт-Петербургский Горный университет императрицы Екатерины II  
Адрес: 199106, Россия, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, д. 2  
Аспирант  
Email: kiros\_00@bk.ru

**Кулаков Николай Сергеевич**

Санкт-Петербургский Горный университет императрицы Екатерины II

Адрес: 199106, Россия, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, д. 2

Студент

Email: kulak123412@gmail.com

R.N. SAFIULLIN, R.R. SAFIULLIN, K.V. SOROKIN, N.S. KULAKOV

## METHOD OF CONTROLLING SECONDARY VOLTAGE OF VEHICLE IGNITION SYSTEM

**Abstract.** The research results proposed in this article will make it possible to solve the problem of synchronizing and monitoring the operation of the ignition system depending on the operating parameters of the vehicle knock sensor. Based on a system analysis of methods for igniting the fuel-air mixture of power plants, an algorithm for the operation of an automated system for controlling the accumulation of energy in vehicle ignition coils was developed. A technical solution has been proposed for managing and monitoring the technical condition of the ignition system of a vehicle power plant, on the basis of which a model of an automated system for controlling the accumulation of energy in vehicle ignition coils has been developed.

**Keywords:** adaptive controlled method, ignition system, technical condition, power unit, vehicles

## BIBLIOGRAPHY

1. Bandi B. Metody optimizatsii. Vvodnyy kurs: Per. s angl. M.: Radio i svyaz', 1988. 128 s.
2. Geri M., Dzhonson D. Vychislitel'nye mashiny i trudnoreshaemye zadachi: Monografiya. M.: Mir, 1982. 420 s.
3. Dzhofrion A., Dayer Dzh., Faynberg A. Reshenie zadach optimizatsii pri mnogikh kriteriyakh na osnove cheloveko-mashinnykh protsedur // Voprosy analiza i protsedury prinyatiya resheniy. M.: Mir. 1976.
4. Safiullin R.N., Safiullin R.R., Efremova V.A. Metod kompleksnoy otsenki bortovykh informatsionno-upravlyayushchikh sistem na gornykh mashinakh // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2023. №9-1. S. 49-63. DOI: 10.25018/0236/1493/2023/91049.
5. Nikolaev V.I., Bruk V.M. Sistemotekhnika: metody i prilozheniya. L.: Mashinostroenie, 1985. 199 s.
6. Podinovskiy V.V., Gavrilov V.M. Optimizatsiya po posledovatel'no primenyaemym kriteriyam. M.: Sovetskoe radio, 1975. 192 s.
7. Rua B. Problemy i metody prinyatiya resheniya v zadachakh so mnogimi tselevymi funktsiyami // Voprosy analiza i protsedury prinyatiya resheniy. M.: Mir, 1976.
8. Borisov C.B., Koltunova E.A., Kladiev S.N. Sovershenstvovanie struktury imitatsionnoy modeli tyagovogo asinkhronnogo elektroprivoda rudnichnogo elektrovozoa // Zapiski Gornogo instituta. 2021. T. 247. C. 1-8. DOI: 10.31897/PMI.2021.1.12.
9. Buzmakov S.A., Sannikov P.YU., Kuchin L.S., Igosheva 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.
10. Nazarychev A.N., Dyachenok G.V., Sychev YU.A. Issledovanie nadezhnosti tyagovogo elektroprivoda kar`ernykh samosvalov na osnove analiza otkazov ego funktsional`nykh uzlov // Zapiski Gornogo instituta. 2023. T. 261. C. 363-373.
11. 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. C. 10. DOI: 10.31897/pmi.2020.1.10.
12. 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.
13. Baake E., SHpenst V.A. Poslednie nauchnye issledovaniya po elektrotermicheskim metallurgicheskim protsessam // Zapiski Gornogo instituta. 2019. T. 240. S. 660-668. DOI: 10.31897/PMI.2019.6.660.
14. Sistema ekologicheskogo monitoringa kak podsistemy intellektual'noy transportnoy sistemy // Organizatsiya dorozhnogo dvizheniya i bezopasnost` na dorogakh evropeyskikh gorodov: materialy Mezhdunarodnoy moloedzhnnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Orel: VGOOU VPO «Gosudarstvennyy universitet - uchebno-nauchno-proizvodstvennyy kompleks», 2014. P. 46-49. EDN UTHTS.
15. Komarov V.V., Garagan S.A. Intellektual`nye zadachi telematiceskikh transportnykh sistem i intellektual`naya transportnaya sistema // T-Comm: Telekommunikatsii i transport. 2012. T. 6. №4. S. 34-38. EDN

PWMAPZ.

16. Safiullin R.N., Safiullin R.R., Sorokin K.V. Metody vnedreniya sistem udalionnogo diagnostirovaniya passazhirskogo transporta v gorodskikh aglomeratsiyakh // Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa. 2023. №4(66). S. 18-24. EDN FXOCET.
17. Fedotov Vitaly N., Chudakova Natalia V., Ismailov Ramin. Automation of the technological process of spare parts at the car service company // E3S Web of Conferences. 2023. R. 402. DOI: 10.1051/e3sconf/202340210009.
18. Won S.H., Haas F.M., Dooley S., Edwards T., Dryer F.L. Reconstruction of chemical structure of real fuel by surrogate formulation based upon combustion property targets [Elektronnyy resurs] / Combustion and Flame. 2017. №183. R. 39-49. URL: <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2017.04.032>.
19. Yu L., Zhao C., Liu S., Di,M. Alkane Influence of Combustion Products in Polyethylene and Gasoline [Elektronnyy resurs] / Procedia Engineering. 2013. №52. R. 566-570. URL: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.0>.
20. Ramavath S., Suryawanshi S.R. Optimal Prediction of Shear Properties in Beam-Column Joints Using Machine Learning Approach. International Journal of Engineering. 2024. №37(1). R. 67-82. doi: 10.5829/ije.2024.37.01a.07.
21. Ghaderi F., Toloei A., Ghasemi R. Formation Control and Obstacle Avoidance of a Multi-Quadrotor System Based on Model Predictive Control and Improved Artificial Potential Field // International Journal of Engineering. 2024. №37(1). R. 115-126. doi: 10.5829/ije.2024.37.01a.11.
22. Automated system for remote diagnostics of the technical condition of vehicles based on a matrix QR code: pat. Russian Federation. №2792386 / Safiullin R.N., Safiullin R.R., Ungefuk A.A., Sorokin K.V., Tian Haotian, 2023, Byul. №9.
23. Gaile A.A., Vereshchagin A.V., Klement'ev V.N. Re?ning of diesel and ship fuels by extraction and combined methods. Part 1. Use of ionic liquids as extractants. Russ. J. Appl. Chem. 2019. №92. R. 453-475. DOI:10.1134/S1070427219040013.
24. Gaile A.A., Vereshchagin A.V., Klement'ev V.N. Re?ning of diesel and ship fuels by extraction and combined methods. Part 2. Use of organic solvents as extractants. Russ. J. Appl. Chem. 2019. №92. R. 583-595. DOI:10.1134/S107042721905001X.

**Safiullin Ravil Nurulloovich**

Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University  
Address: 199106, Russia, Saint Petersburg, Vasilyevsky Island, 21 line 2  
Doctor of Technical Sciences  
Email: safravi@mail.ru

**Safiullin Ruslan Ravillovich**

Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University  
Address: 199106, Russia, Saint Petersburg, Vasilyevsky Island, 21 line 2  
Associate Professor of the Department of TTPiM  
Email: safyllin@yandex.ru

**Sorokin Kirill Vladislavovich**

Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University  
Address: 199106, Russia, Saint Petersburg, Vasilyevsky Island, 21 line 2  
Graduate student  
Email: kiro\_00@bk.ru

**Kulakov Nickolay Sergeevich**

Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University  
Address: 199106, Russia, Saint Petersburg, Vasilyevsky Island, 21 line 2  
Student  
Email: kulak123412@gmail.com

УДК 665.73 (076.5)  
doi:10.33979/2073-7432-2025-1-3(88)-52-61

Д.А. ДРЮЧИН

## МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

**Аннотация.** На основе анализа практического опыта функционирования городских пассажирских транспортных систем, выявлена проблема отсутствия согласованного развития ключевых подсистем, что оказывает отрицательное влияние на показатели эффективности работы системы. Проведённый обзор научных работ показал, что одним из факторов, сдерживающих развитие пассажирских транспортных систем, является отсутствие методологии, объединяющей известные методы в единый алгоритм, обеспечивающий интегральное решение оптимизационной задачи. Исходя из предложенного концептуального подхода, произведена интеграция методов оптимизации структуры ключевых подсистем в рамках обобщённой методологии. Предложен критерий оценки эффективности функционирования системы и определены ограничения оптимизационных вычислений. Предложенная методология реализована в отношении системы городского пассажирского транспорта города Оренбурга. Получен положительный экономический и экологический эффект.

**Ключевые слова:** пассажирские перевозки, транспортная система, структурное моделирование, городской пассажирский транспорт, обеспечение транспортного процесса, производственно-техническая база

### Введение

Городские пассажирские транспортные системы играют важнейшую роль в обеспечении комфортных условий жизни городского населения. С одной стороны, городской пассажирский транспорт является индикатором, отражающим уровень социально-экономического развития городской территории, с другой стороны, качество транспортного обслуживания населения во многом формирует условия, способствующие экономическому росту.

Высокая социально-экономическая значимости пассажирских транспортных систем определяет актуальность научных и прикладных исследований, направленных на повышение эффективности их функционирования.

Современный этап развития городского пассажирского транспорта характеризуется организационной разобщённостью технологически связанных подсистем, обеспечивающих его функционирование. Рыночные механизмы, определяющие движение финансовых потоков в рамках транспортной системы, являются одной из причин противоречий, обусловленных разнонаправленностью интересов потребителей транспортных услуг, а так же сторон реализующих и организующих транспортный процесс. Следствием сложившейся ситуации является структурный дисбаланс и неэффективное использование средств производства и материальных ресурсов.

Одним из необходимых условий сбалансированного развития системы городского пассажирского транспорта является наличие актуального методического обеспечения, позволяющего определить взаимосвязанные структурные параметры подсистем, составляющих его материальную основу. К числу таких составляющих целесообразно отнести наиболее капиталоёмкие подсистемы: совокупность транспортных средств; подсистемы топливно-энергетического обеспечения; средства производства, обеспечивающие выполнение работ по поддержанию транспортных средств в исправном состоянии.

Исходя из необходимости решения обозначенной проблемы, сформулирована цель исследования: формирование условий эффективного функционирования системы городского пассажирского транспорта на основе согласованного развития ключевых подсистем.

Достижение поставленной цели, обеспечивается последовательным решением ряда задач:

- проведение обзора и анализа содержания научных и прикладных работ, посвящённых оптимизации структурных параметров подсистем, входящих в состав системы городского пассажирского транспорта;
- разработать теоретические основы формирования взаимосвязанных структурных параметров подсистем системы городского пассажирского транспорта, обеспечивающих максимальную эффективность транспортного процесса;
- произвести анализ и выявление факторов и функциональных зависимостей, обеспечивающих решение оптимизационной задачи, определения численных значений структурных параметров системы городского пассажирского транспорта, обеспечивающих максимальную эффективность транспортного процесса.

В рамках предложенного концептуального подхода определены объект и предмет исследования. В качестве объекта исследования рассмотрены процессы функционирования городских пассажирских транспортных систем. Предметом исследования являются закономерности, определяющие влияние структурных параметров пассажирских транспортных систем на эффективность их функционирования.

В соответствии с формулировкой первой поставленной задачи выполнен обзор научных и прикладных работ, посвящённых изучению актуальных аспектов функционирования городских пассажирских транспортных систем. Исходя из общей концепции научной работы, рассмотрены труды по следующим направлениям: организации обслуживания населения городским транспортом общего пользования; транспортной экологии; топливно-энергетического обеспечения транспортных систем; организации производства по поддержанию транспортных средств в исправном состоянии.

### ***Материал и методы***

Вопросы оптимизации парка транспортных средств по параметрам численности и пассажировместимости рассмотрены в работах П.П. Володькина, О.М. Дьячкова, А.С. Рыжова [3]. Труды В.М. Курганова [12] посвящены применению ситуационного подхода при организации и планировании процесса перевозок пассажиров и грузов автомобильным транспортом. Изучению вопросов обеспеченности городского пассажирского транспорта подвижным составом посвящены исследования, проводимые И.В. Спириным, Ю.М. Гришаевой и О.Ю. Матанцевой [13]. Вопросы организации перевозок пассажиров городским транспортом общего пользования с использованием основных положений теории массового обслуживания рассмотрены в работах А.И. Фадеева и Е.В. Фомина [16]. Решению проблем оценки и повышения качества транспортного обслуживания населения городским пассажирским транспортом общего пользования посвящены научные работы Н.В. Якуниной [18].

Результаты исследования влияния видов топлива, потребляемого автомобильными двигателями, на величину экологического ущерба, отражены в работах В.К. Азарова, Е.М. Зозулина, В.Ф. Кутенёва [1]. Сравнение результатов расчёта выбросов транспортных средств, произведённых различными методами с данными, полученными в ходе натурных экспериментов, произведено в ходе исследований, выполненных В.В. Донченко, Ю.И. Кунина, А.В. Рузского [6]. Экологические требования к транспортным средствам, на современном этапе развития автотранспортной отрасли, рассмотрены в работе В.Н. Ложкина [10]. Вопросы сокращения эмиссии парниковых газов, производимых автомобильным транспортом, рассмотрены в работах О.В. Ложкиной [11]. Прогнозированию структурных параметров автомобильного парка Российской Федерации, в том числе, по типу энергоустановок и объёму выбросов парниковых газов посвящены научные исследования Ю.В. Трофименко [15].

Вопросы формирования инфраструктуры, обеспечивающей применение газомоторных топлив в рамках системы городского пассажирского транспорта, исследованы в работах Е.В. Бондаренко, А.А. Филиппова, Р.Т. Шайлина [2]. Анализ перспективных направлений расширения топливно-энергетической базы автомобильного транспорта произведён в научных трудах С.А. Воробьёва [4]. Исследовательские работы Ю.Н. Гольской [5] посвящены

оценке влияния транспортной инфраструктуры на региональную экономику. Факторы, определяющие развитие и взаимосвязь параметров транспортных систем и транспортной инфраструктуры исследованы в работах М.В. Иванова [8]. Влияние технических, экономических и эксплуатационных параметров альтернативных технологий топливно-энергетического обеспечения на эффективность функционирования транспортных систем исследовано в работах А.С. Тищенко и коллектива соавторов [14]. Вопросы применения смеси альтернативных топлив рассмотрены в ходе исследования, проведённого Baratta M. [19]. Технологические аспекты применения сжатого природного газа отражены в трудах Farzaneh-Gord M. и коллектива соавторов [20].

Исследованию условий, определяющих целесообразность создания централизованных производств, обеспечивающих выполнение работ по поддержанию транспортных средств в исправном состоянии посвящены труды В.А. Зенченко, В.А. Васильева, Д.С. Ермилова [7]. Методы организации централизованных производств по ремонту автомобильных двигателей описаны в работах В.И. Карагодина [9]. Условия формирования структурных параметров производственно-технической базы автотранспортных предприятий, исходя из существующих возможностей кооперации с сервисными предприятиями, изучены в работах Г.А. Шахалевича и коллектива соавторов [17].

На основе результатов анализа содержания перечисленных выше научных работ и со-поставления известных методов с предлагаемым концептуальным подходом, подтверждена целесообразность реализации комплексных методов решения проблемы оптимизации структурных параметров подсистем, определяющих содержание материальной базы системы городского пассажирского транспорта.

В рамках реализуемого комплексного подхода разработана схема взаимодействия рассматриваемых подсистем системы городского пассажирского транспорта общего пользования. Данная схема представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 - Схема взаимодействия подсистем системы городского пассажирского транспорта

### Теория

В рамках предлагаемого концептуального подхода, предложен критерий эффективности функционирования системы городского пассажирского транспорта. В качестве данного критерия предложено использовать сумму удельных затрат на перевозку одного пассажира и удельного экологического ущерба. Экологический ущерб включает в себя ущерб от выбросов токсичных веществ, парниковых газов и использования не возобновляемых природных ресурсов. Обозначенная сумма принята в качестве целевой функции оптимизационного процесса. Ограничения целевой функции определены установленными требованиями к качеству транспортного обслуживания населения. Обобщённое выражение для расчёта предложенной

целевой функции имеет вид:

$$z_{kom} = \frac{\sum_{i=1}^n (z_{it}) + y_{yd} \cdot \left( \sum_{i=1}^n (m_i \cdot k_i) \right) \cdot k_3 + 3,17 \cdot y_{co_2} \cdot Q_T + 3,45 \cdot z_K \cdot Q_T \cdot K_H}{OP_T}, \quad (1)$$

где  $\sum_{i=1}^n (z_{it})$  - суммарные эксплуатационные затраты на перевозку пассажиров, руб.;

$y_{yd}$  – показатель удельного ущерба атмосферному воздуху, руб./ усл. т;

$m_i$  – фактическая масса i-го загрязняющего вещества, т;

$k_i$  – коэффициент относительной экологово-экономической опасности i-го загрязняющего вещества;

$k_3$  – коэффициент экологической ситуации и экологической значимости состояния атмосферного воздуха для региона;

$y_{co_2}$  – удельный экологический ущерб от поступления в атмосферный воздух одной тонны углекислого газа, руб./т;

$z_K$  – восстановительная стоимость свободного кислорода, руб./т;

$K_H$  – коэффициент индексации цен;

$Q_T$  – вес израсходованного топлива, т.

Расчёт суммарных эксплуатационных затрат на перевозку пассажиров производится по типовой методике, утверждённой Министерством транспорта Российской Федерации.

Выполнение установленных требований к качеству транспортного обслуживания населения по показателям регулярности и провозной возможности определяется численностью и пассажировместимостью транспортных средств, закреплённых за маршрутом. В рамках разработанной методологии разработана методика и соответствующий ей алгоритм определения структурных параметров парка транспортных средств, обеспечивающих эффективную организацию транспортного процесса.

Для сравнения экологических показателей функционирования различных технологических схем энергетического обеспечения, существующие схемы разделены на два вида: с мобильной и стандартной энергетической установкой. Объём производимых выбросов и соответствующий им экологический ущерб определён исходя из значения пробеговых выбросов и эквивалентных объёмов выбросов, производимых электростанцией, обеспечивающей работу электротранспортных систем. На основе выполненной оценки комплексной эффективности использования рассматриваемых видов пассажирских транспортных средств, определены области эффективного применения транспортных средств различной пассажировместимости, рисунок 2.

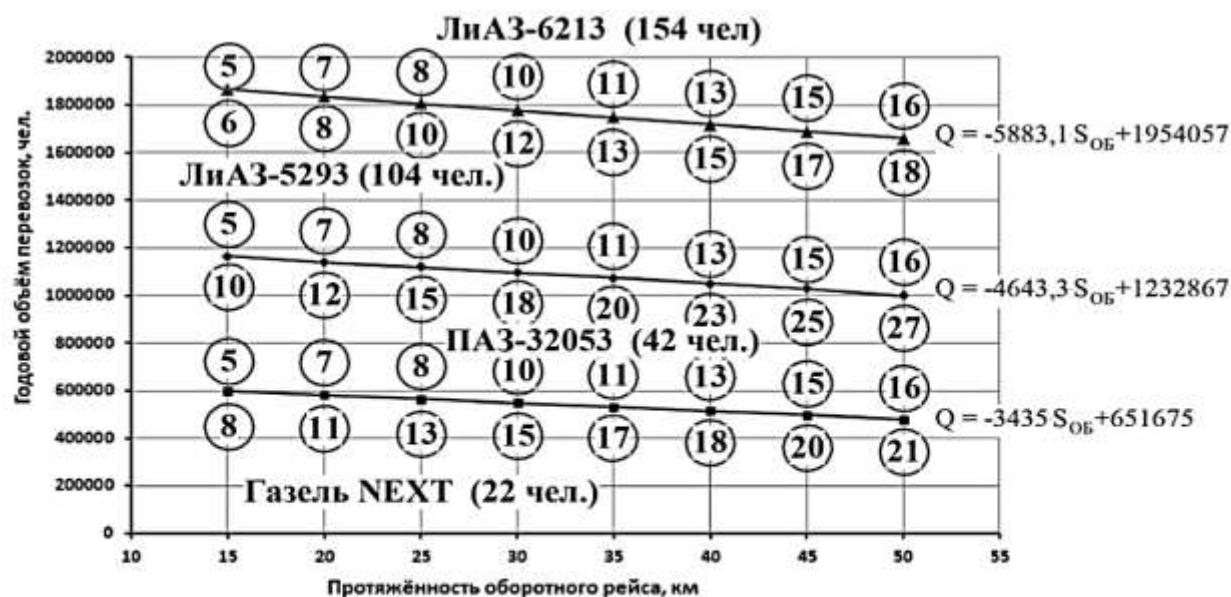
Формирование оптимизированных параметров инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения, в рамках реализуемой концепции, производится исходя из таких условий, как:

- возможность реализации заданного объёма энергоносителя;

- обеспечение необходимой производительности по количеству обслуживаемых потребителей;

- целесообразность строительства заправочной станции, исходя из условий экономической целесообразности.

Определение оптимального места расположения заправочных станций произведено исходя из анализа мест расположения ключевых потребителей реализуемого энергоносителя, с использованием метода, предполагающего определение «центра масс» проектируемой системы и метода группировки потенциальных инфраструктурных объектов исходя из данных матрицы расстояний.



⑦ - расчётная численность транспортных средств, закреплённых за маршрутом.

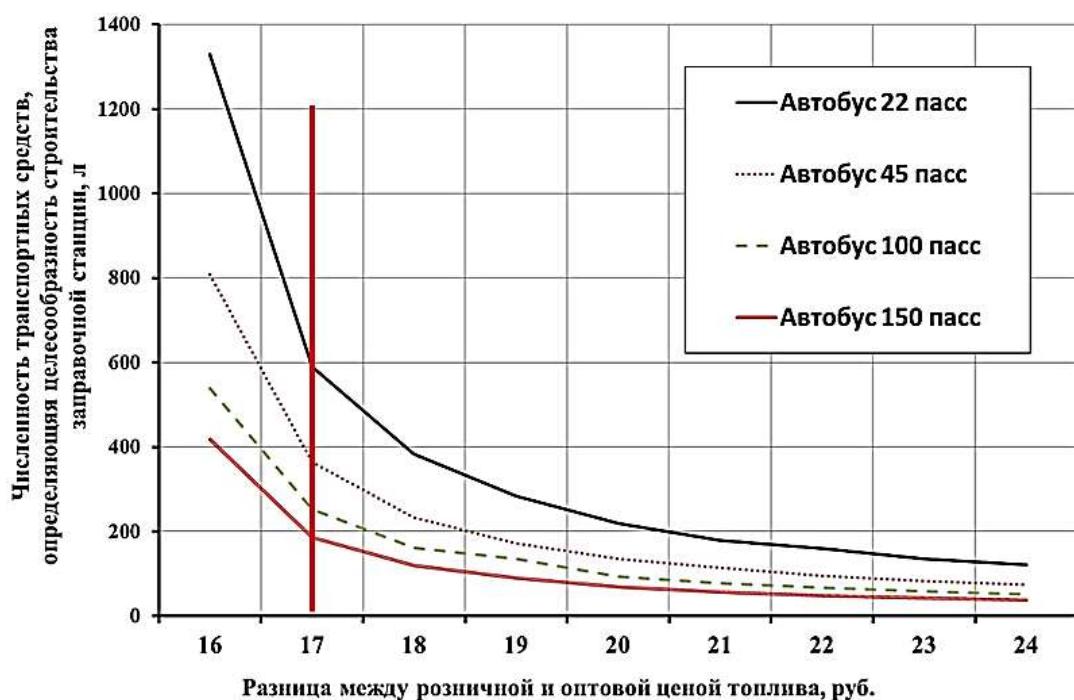
$Q$  - годовой объём перевозок, пасс.;  
 $S_{\text{об}}$  - протяжённость оборотного рейса, км.

Рисунок 2 – Области целесообразного применения транспортных средств заданной пассажировместимости

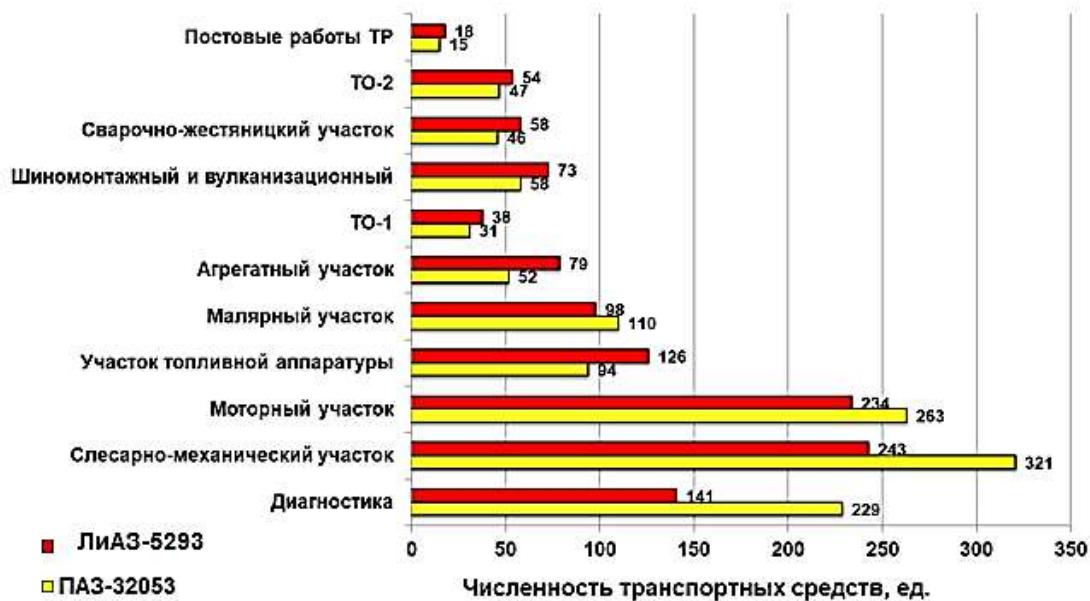
Реализация разработанного подхода предполагает выполнение пошагового моделирования технологического взаимодействия парка обслуживаемых транспортных средств и инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения. Процесс моделирования опирается на выдвинутую гипотезу, предполагающую, что затраты на создание и содержание инфраструктуры возрастают с увеличением количества инфраструктурных объектов. Но, увеличение территории, охватываемой инфраструктурной сетью, приводит к сокращению холостых пробегов и увеличению времени работы транспортных средств на маршруте.

Одним из частных результатов аналитических исследований, проведённых в рамках реализации разработанной методики, являются графики, иллюстрирующие зависимость численности транспортных средств, определяющей целесообразность строительства заправочной станции, реализующей компримированный природный газ, от разницы между оптовой и различной ценой на данный вид энергоносителя. Данные графики, представлены на рисунке 3.

Оптимальные структурные параметры производственно-технической базы, обеспечивающей поддержание подвижного состава в исправном состоянии, в рамках системы городского пассажирского транспорта, определяются в условиях заданного распределения транспортных средств между предприятиями-перевозчиками. Структурный состав производственных мощностей, формируемых на базе транспортных предприятий системы, определяется на основе результатов поочерёдного сравнения затрат на содержание производственных подразделений с затратами на выполнение того же объёма работ по кооперации, на базе сервисных предприятий. Совокупность объёмов работ, не целесообразных к выполнению на базе предприятий-перевозчиков, являются основой для формирования рынка сервисных услуг. В рамках исследовательской части работы, определены значения численности городских автобусов, определяющие целесообразность организации производственных подразделений для выполнения соответствующих видов работ. Диаграмма, отражающая данные значения, приведена на рисунке 4.



*Рисунок 3 – Минимальная численность транспортных средств, определяющая целесообразность строительства заправочной станции КПГ*



*Рисунок 4 – Численность городских автобусов, определяющая целесообразность включения производственных подразделений в состав производственно-технической базы предприятия-перевозчика*

Интеграция представленных выше методов позволило сформировать методологию определения оптимального структурного состава системы городского пассажирского транспорта, использующую в качестве критерия оптимизации обобщённый показатель суммарных удельных затрат на перевозку пассажира. Общая логика производимых вычислений отражена на схеме, представленной на рисунке 5.



Рисунок 5 – Схема взаимного влияния структурных параметров подсистем городского пассажирского транспорта

### Результаты и обсуждение

Разработанные теоретические положения и данные, полученные на основе аналитических исследований и натурных экспериментов, позволили применить разработанную методологию в отношении городского пассажирского транспортного комплекса города Оренбурга. В соответствии с обобщённым алгоритмом решения оптимизационной задачи, определены структурные параметры парка транспортных средств; инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения и параметры производственно-технической базы транспортных и сервисных предприятий. Рекомендуемые изменения структурных параметров парка транспортных средств представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Рекомендуемые изменения структурных параметров парка транспортных средств, обслуживающих маршруты городского пассажирского транспорта города Оренбурга

Вид транспортного средства	Номинальная пассажиро-вместимость, чел.	Вид топлива	Количество, ед.	
			Существующее	Проектное
Автобус	22	Сжиженный углеводородный газ	212	42
Автобус	45	Компримированный природный газ	604	149
Автобус	100	Компримированный природный газ	50	404
Троллейбус	100	Электроэнергия	50	0
			ИТОГО	916
				595

Итоговые технико-экономические показатели, характеризующие эффективности внедрения результатов исследования в отношении системы городского пассажирского транспорта, представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Технико-экономические показатели внедрения результатов исследования

Показатель	Значение
Годовой объём перевозок, пасс.	103 871 100
Снижение численности транспортных средств, ед.	325
Снижение общего годового пробега, тыс. км	23 726
Снижение суммарных эксплуатационных затрат (с учётом экологического ущерба), тыс. руб.	370 852
Повышение удельных затрат на 1 км пробега, руб./км	33

### **Выходы**

На основании промежуточных и итоговых результатов проведённого исследования сформулированы выводы, отражающие решение поставленных задач и свидетельствующие о достижении поставленной цели:

1) на основании анализа содержания известных научных работ предложена концепция структурного построения системы городского пассажирского транспорта, предполагающая обеспечение согласованного развития взаимосвязанных подсистем. Для оценки структурного состояния системы предложен комплексный показатель эффективности, включающий в себя экономическую и экологическую составляющую реализуемого эффекта;

2) в качестве составных частей представленной методологии разработаны взаимосвязанные методы оптимизации структурных параметров ключевых подсистем системы городского пассажирского транспорта: парка транспортных средств; инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения; производственно-технической базы, обеспечивающей поддержание парка транспортных средств в исправном состоянии;

3) на основе результатов аналитических исследований и натурных экспериментов определены данные, обеспечивающие практическое применение разработанных методов: области эффективного применения различных категорий и классов подвижного состава; минимальных объёмов энергоносителей, реализация которых определяет целесообразность строительство заправочных станций; граничные значения объёмов работ по техническому обслуживанию и ремонту подвижного состава, определяющие целесообразность включения соответствующих подразделений в состав производственно технической базы предприятия;

4) разработана методика решения оптимизационной задачи, предполагающая выполнение циклических итерационных вычислений. Методика позволяет учесть взаимное влияние структурных параметров ключевых подсистем системы городского пассажирского транспорта и их совокупное влияние на итоговый показатель эффективности, принятый в качестве целевой функции исследования;

5) практическая реализация разработанной методологии в отношении системы городского пассажирского общественного транспорта города Оренбурга позволила разработать комплекс мероприятий по повышению эффективности транспортного обслуживания населения. По результатам предварительной оценки, практическая реализация предложенных мероприятий позволит достичь общих затрат в рамках системы на 12,6 %, прогнозируемое снижение экологического ущерба составляет 28,6 %, ожидаемый годовой эффект составляет более 370 млн. руб.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Азаров В.К., Зозулин Е.М., Кутенёв В.Ф. Экологический ущерб от двигателей автомобилей в зависимости от вида потребляемого топлива // Транспорт на альтернативном топливе. 2022. №6(90). С. 48-55.
2. Бондаренко Е.В., Шайлин Р.Т., Филиппов А.А., Сологуб В.А. Формирование газозаправочной инфраструктуры, адаптированной к параметрам работы пассажирского маршрутного транспорта // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 1-4 (55). С. 25-29.
3. Володькин П.П., Дьячкова О.М., Рыжова А.С. Определение необходимого количества автобусов на маршрутах, исходя из интервала движения, на примере г. Хабаровска // Транспорт: наука, техника, управление. 2015. № 3. С. 28-32.
4. Воробьев С.А. Перспективы развития автомобильного транспорта на альтернативной энергетике. Монография. СПб.: Наукомкие технологии, 2023. 122 с.
5. Гольская Ю.Н. Понятие транспортной инфраструктуры и оценка ее влияния на региональную экономику // Транспортная инфраструктура Сибирского региона: материалы второй межвузовской научно-практической конференции: в 6 т. Иркутск: ИрГУПС. 2011. С. 157-162.
6. Донченко В.В., Кунин Ю.И., Рузский А.В., Виженский В.А. Методы расчёта выбросов от автотранспорта и результаты их применения // Журнал автомобильных инженеров. 2014. №3(86). С. 44-51.
7. Зенченко В.А., Васильев В.А., Ермилов Д.С. Организация централизованного ТО и ремонта автобусов // Автотранспортное предприятие. 2007. №9. С. 35-40.
8. Иванов М.В. Транспортная система и транспортная инфраструктура: взаимосвязь и факторы разви-

- тия // Экономика и предпринимательство. 2015. №12-2 (65). С. 418-422.
9. Карагодин В.И. Централизованный ремонт автомобильных двигателей по техническому состоянию // Московский автомобильно-дорожный гос. технический ун-т (МАДИ). Москва: Техполиграфцентр. 2011. 94 с.
10. Ложкин В.Н. Современные экологические требования к автотранспорту в условиях производства и эксплуатации // Транспорт Российской Федерации. 2005. №1. С. 64-65.
11. Ложкина О.В. Мониторинг и прогнозирование опасного техногенного загрязнения атмосферы парниковыми газами транспорта. Санкт-Петербург: Университет ГПС МЧС России. 2023. 164 с.
12. Курганов В.М. др. Организация управления автомобильным транспортом: Монография. Владивосток: Дальнаука, 2011. 400 с.
13. Спирин И.В., Гришаева Ю.М., Матанцева О.Ю. Индикатор для оценки обеспеченности подвижным составом городского пассажирского транспорта общего пользования // Мир транспорта. 2007. №6(91). С. 220-237.
14. Тищенко А.С., Дрючин Д.А., Филиппов А.А., Шайлин Р.Т. Повышение эффективности функционирования автотранспортного комплекса региона на основе применения альтернативных схем топливно-энергетического обеспечения // Газовая промышленность. 2020. №1(795). С. 74-80.
15. Трофименко Ю.В., Комков В.И. Актуализированный прогноз численности, структуры автомобильного парка России по типу энергоустановок и выбросов парниковых газов до 2050 года // Вестник СибАДИ. 2023. №3(91). С. 350-361.
16. Фадеев А.И., Фомин Е.В. Методика решения задачи определения оптимальной структуры парка подвижного состава городского пассажирского транспорта общего пользования // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. №1. С. 218-227.
17. Шахалевич Г.А., Якунин Н.Н., Дрючин Д.А. Проектирование АТП с учётом технико-экономических показателей работы производственных подразделений // Грузовое и пассажирское автохозяйство. 2011. №7. С. 56-61.
18. Якунина Н.В. Совершенствование методологии определения структуры подвижного состава городского пассажирского автомобильного транспорта // Вестник Оренбургского государственного университета. 2011. №10. С. 13-19.
19. Baratta M., D'Ambrosio S., Iemolo D., Misul D. Method for the recognition of the fuel composition in CNG engines fed with natural gas/biofuel/hydrogen blends // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2017. Vol. 40. P. 312-326.
20. Farzaneh-Gord M., Niazmand A., Deymi-Dashtebayaz M., Rahbari H. R. Effects of natural gas compositions on CNG (compressed naturalgas) reciprocating compressors performance // Energy. 2015. Vol. 90 (Part 1). P. 1152-1162.

**Дрючин Дмитрий Алексеевич**

Оренбургский государственный университет

Адрес: 460018, Россия, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13

К.т.н., доцент, зав. кафедрой технической эксплуатации и ремонта автомобилей

E-mail: dmi-dryuchin@yandex.ru

D.A. DRYUCHIN

## **ASSESSMENT OF THE MUTUAL INFLUENCE OF THE STRUCTURAL PARAMETERS OF THE MATERIAL BASE OF THE URBAN PASSENGER TRANSPORT SYSTEM**

**Abstract.** Based on the analysis of practical experience of effective passenger transport systems, the problem of the emergence of coordinated development of key subsystems, which has a negative impact on the performance indicators of the system, has been identified. The review of scientific works showed that one of the factors hindering the development of passenger transport systems is the lack of a methodology that combines well-known methods into a single algorithm that provides an integral solution to the optimization problem. Based on the proposed conceptual approach, methods for optimizing the structure of key subsystems were integrated within the framework of a generalized methodology. A criterion for assessing the efficiency of system functioning is proposed and the limitations of optimization calculations are determined. The proposed methodology is implemented in relation to the urban passenger transport system of the city of Orenburg. A positive economic and environmental effect was obtained.

**Keywords:** passenger transportation, transport system, structural modeling, urban passenger transport, ensuring the transport process, production and technical base

## BIBLIOGRAPHY

1. Azarov V.K., Zozulin E.M., Kuteniov V.F. Ekologicheskiy ushcherb ot dvigateley avtomobiley v zavisimosti ot vida potrebyaemogo topliva // Transport na al`ternativnom toplive. 2022. №6(90). S. 48-55.
2. Bondarenko E.V., SHaylin R.T., Filippov A.A., Sologub V.A. Formirovaniye gazozapravochnoy infrastruktury, adaptirovannoy k parametram raboty passazhirskogo marshrutnogo transporta // Mezdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal. 2017. № 1-4 (55). S. 25-29.
3. Volod'kin P.P., D'yachkova O.M., Ryzhova A.S. Opredelenie neobkhodimogo kolichestva avtobusov na marshrutakh, iskhodya iz intervala dvizheniya, na primere g. Habarovsk // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. 2015. № 3. S. 28-32.
4. Vorob`ev S.A. Perspektivnye razvitiya avtomobil'nogo transporta na al`ternativnoy energetike. Monografiya. SPb.: Naukoemkie tekhnologii, 2023. 122 s.
5. Gol'skaya YU.N. Ponyatie transportnoy infrastruktury i otsenka ee vliyaniya na regional'nyyu ekonomiku // Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona: materialy vtoroy mezhvuzovskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: v 6 t. Irkutsk: IrGUPS. 2011. S. 157-162.
6. Donchenko V.V., Kunin YU.I., Ruzskiy A.V., Vizhenskiy V.A. Metody raschiota vybrosov ot avtotransporta i rezul'taty ikh primeneniya // ZHurnal avtomobil'nykh inzhenerov. 2014. №3(86). S. 44-51.
7. Zenchenko V.A., Vasil'ev V.A., Ermilov D.S. Organizatsiya tsentralizovannogo TO i remonta avtobusov // Avtotransportnoe predpriyatiye. 2007. №9. S. 35-40.
8. Ivanov M.V. Transportnaya sistema i transportnaya infrastruktura: vzaimosvyaz' i faktory razvitiya // Ekonomika i predprinimatel'stvo. 2015. №12-2 (65). S. 418-422.
9. Karagodin V.I. Tsentralizovanny remont avtomobil'nykh dvigateley po tekhnicheskому sostoyaniyu // Moskovskiy avtomobil'no-dorozhnyy gos. tekhnicheskiy un-t (MADI). Moskva: Tekhpoligrafsentr. 2011. 94 s.
10. Lozhkin V.N. Sovremennye ekologicheskie trebovaniya k avtotransportu v usloviyakh proizvodstva i eksploatatsii // Transport rossiyskoy federatsii. 2005. №1. S. 64-65.
11. Lozhkina O.V. Monitoring i prognozirovaniye opasnogo tekhnogennogo zagryazneniya atmosfery parnikovymi gazami transporta. Sankt-Peterburg: Universitet GPS MCHS Rossii. 2023. 164 s.
12. Kurganov V.M. dr. Organizatsiya upravleniya avtomobil'nym transportom: Monografiya. Vladivostok: Dal'nauka, 2011. 400 s.
13. Spirin I.V., Grishaeva YU.M., Matantseva O.YU. Indikator dlya otsenki obespechennosti podvizhnym sostavom gorodskogo passazhirskogo transporta obshchego pol'zovaniya // Mir transporta. 2007. №6(91). S. 220-237.
14. Tishchenko A.S., Dryuchin D.A., Filippov A.A., SHaylin R.T. Povyshenie effektivnosti funktsionirovaniya avtotransportnogo kompleksa regiona na osnove primeneniya al`ternativnykh skhem toplivno-energeticheskogo obespecheniya // Gazovaya promyshlennost'. 2020. №1(795). S. 74-80.
15. Trofimenko YU.V., Komkov V.I. Aktualizirovanny prognoz chislennosti, struktury avtomobil'nogo parka Rossii po tipu energoustanovok i vybrosov parnikovykh gazov do 2050 goda // Vestnik SibADI. 2023. №3(91). S. 350-361.
16. Fadeev A.I., Fomin E.V. Metodika resheniya zadachi opredeleniya optimal'noy struktury parka podvizhnogo sostava gorodskogo passazhirskogo transporta obshchego pol'zovaniya // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2018. №1. S. 218-227.
17. Shakhalevich G.A., YAkunin N.N., Dryuchin D.A. Proektirovaniye ATP s uchiotom tekhniko-ekonomiceskikh pokazateley raboty proizvodstvennykh podrazdeleniy // Gruzovoe i passazhirskoe avtokhozyaystvo. 2011. №7. S. 56-61.
18. YAkunina N.V. Sovershenstvovanie metodologii opredeleniya struktury podvizhnogo sostava gorodskogo passazhirskogo avtomobil'nogo transporta // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. 2011. №10. S. 13-19.
19. Baratta M., D'Ambrosio S., Iemmo D., Misul D. Method for the recognition of the fuel composition in CNG engines fed with natural gas/biofuel/hydrogen blends // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2017. Vol. 40. R. 312-326.
20. Farzaneh-Gord M., Niazmand A., Deymi-Dashtebayaz M., Rahbari H. R. Effects of natural gas compositions on CNG (compressed naturalgas) reciprocating compressors performance // Energy. 2015. Vol. 90 (Part 1). R. 1152-1162.

**Dryuchin Dmitry Altkseevich**

Orenburg State University

Adress: 460018, Russia, Orenburg, ave. Victory, 13

Candidate of Technical Sciences

E-mail: dmi-dryuchin@yandex.ru

УДК 629.1.07

doi:10.33979/2073-7432-2025-1-3(88)-62-68

К.Я. ЛЕЛИОВСКИЙ, М.Г. КОРЧАЖКИН

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НА СТЕНДЕ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС НА ВИБРАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАБОТЫ КОРОБОК ПЕРЕДАЧ

*Аннотация.* Настоящая статья посвящена изучению влияния возмущающих воздействий, сопровождающих функционирование коробок передач, как одних из ключевых агрегатов силовых приводов, на спектральные характеристики вибрационных процессов. Приводятся графики зависимости спектров вибрационного сигнала шестерен, зарегистрированные в ходе стендовых испытаний, имитирующих возникновение в них эксплуатационных дефектов. Анализируется вид спектральных характеристик отражающих штатное работоспособное состояние зубчатых колес и наличие в них дефектов. Даётся вариант классификации проявления дефектов и эксплуатационных повреждений на основе спектрального анализа вибраций.

**Ключевые слова:** вибрационная диагностика, стендовые испытания, коробки передач, зубчатые колёса, абразивное изнашивание

### **Введение**

Оперативное управление техническим состоянием транспортных средств является актуальной задачей, решаемой в ходе их эксплуатации. Важным, с данной точки зрения, является проведение диагностирования. Особенно в экспресс – формате. Это позволит оперативно определять их текущее техническое состояние и на основании него своевременно принимать решение о назначении на маршрут или на ремонтно-технологические мероприятия. Что обеспечит более высокие величины коэффициентов эффективности использования, технической готовности.

Вопросам изучения особенностей технической эксплуатации транспортных средств, посвящены исследования Г.В. Крамаренко, Е.С. Кузнецова, И.Н. Аринина, А.П. Болдина, Е.В. Бондаренко, Р.Ф. Калимуллина, В.А. Корчагина, В.И. Рассохи и др. В своих работах большинство исследователей важное место отдают их диагностике, как резерву об обеспечения эксплуатационной надежности транспортных средств. В большинстве из них диагностирование рассматривается как процесс, предваряющий операции по техническому обслуживанию или ремонту. В современных условиях коммерческой эксплуатации подобный подход не позволяет в полной мере способствовать эффективному решению рассматриваемой в данной статье задачи. Для них более рациональным, в настоящее время, является принцип обслуживания по текущему техническому состоянию, в том числе и в отношении агрегатов трансмиссии, в рамках которого диагностирование приобретает важную роль. Однако в таком случае оно должно основываться на косвенных методах, ввиду их относительно невысокой трудоёмкости в реализации. Одними из таковых являются методы вибродиагностики. Их изучению и разработкам посвящены исследования М.Д. Генкина, А.Г. Соколовой, А.В. Баркова, Б.В. Павлова и др.

### **Материалы и методы**

Для обеспечения его эффективности необходимо проведение предварительных исследовательских стендовых испытаний для целей сбора информации о проявлении дефектов и повреждений. Эти испытания предполагают регистрацию спектров вибрационных сигналов коробок передач, элементы конструкции которых находятся в работоспособном состоянии, а также в состоянии различной степени развития дефектов и даже предотказном [1, 2]. В ходе этого формируются шаблоны соответствующих спектрограмм, загружаемых в память диагностической аппаратуры, используемой при экспресс-диагностировании и позволяющих



*Рисунок 1 - Моторный стенд*

чаем возможность создать нагрузочные режимы в широких диапазонах, близких к реальным эксплуатационным. Другим важным преимуществом данного способа испытаний является его помехоустойчивость относительно сигнала, регистрируемого аппаратурой, установленного на автомобилях при их заездах по реальным участках дорог, в который могут примешиваться составляющие, обусловленные воздействием опорного основания, что позволит, до определенной степени преодолеть такой недостаток вибродиагностики - помехоустойчивость [3, 4]. Объектом экспериментальных исследований выбрана пятиступенчатая коробка передач, изготавливаемая на ООО «Нижегородские моторы» (бывший Завод коробок скоростей п/о «ГАЗ»). Испытательные мероприятия проводились в соответствии с методикой, предложенной автором в [5].

### *Теория / Расчет*

Дополнительной задачей, решаемой в процессе данных исследований, была проверка адекватности разработанной в ходе него математической модели [6]. Основными диагностическими параметрами были выбраны частота и амплитуда вибраций, их форма и вид. Вибродиагностические испытания осуществляются на основании подачи известного входного воздействия, характерного для штатного эксплуатационного режима нагружения данной механической системы и отслеживания виброотклика. По его спектральным характеристикам делается заключение о текущем техническом состоянии системы [7, 8]. Для механических систем, к которым также относятся автомобильные коробки передач, эффективным признано сообщение ей воздействия импульсного характера. Откликом на него являются затухающие колебания в ограниченном частотном диапазоне сложной структуры. Длительность подаваемого импульса варьируется от того, какую ширину спектра сигнала желательно получить. В частности, для коробок передач, ширины спектров возмущающих воздействий и собственных колебаний, как правило, как минимум равны. Однако, последние могут быть и шире. В их пределах, обычно, находятся все информативные с диагностической точки зрения, частоты. Для исследования спектральных характеристик вибросигнала дефектов зубчатых колёс использовались коробки передач, приведенные на (рис. 2). Изучался характер изменения огибающей энергетического спектра амплитуд мощности вибраций при наличии эксплуатационных дефектов.

Испытания проводились на следующих режимах: обороты коленчатого вала двигателя поддерживались вблизи  $n = 2500 \text{ мин}^{-1}$  ввиду того, что это – обороты максимального крутящего момента двигателя ( $T_e = 180 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ) ЗМЗ – 406, (установлен на стенде). Момент нагрузжающего сопротивления, создавался гидравлическим тормозом и был равен  $T_{H_f} = 100 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .

Образцы изношенных зубчатых колёс предварительно фотографировались. Степень изнашивания была установлена посредством предварительных метрологических измерений.

осуществлять автоматическую постановку диагноза. Испытания рациональнее всего проводить в лабораторных условиях, на стенде с гидравлическим тормозом - замедлителем (рис. 1), обеспечивающим возможность создания силовую нагрузку на изучаемую коробку передач. Двигатель внутреннего сгорания, входящий в состав стенда создает крутящий момент, гидравлическое нагружающее устройство – момент сопротивления, эквивалентный сопротивления движению от дороги, по которой может двигаться транспортное средство. Достоинством такого метода испытаний является то, что в относительно комфортных лабораторных условиях мы полу-

В ходе них определялись степень изношенности зубьев каждой конкретной испытуемой шестерни.



*Рисунок 2 - Исследуемые коробки передач:*

*а - коробка передач с неизвестным техническим состоянием элементов; б - коробка передач, на которую устанавливались шестерни с различным техническим состоянием; в – подменная коробка передач, на которую при испытаниях устанавливались шестерни с различным техническим состоянием*

На рисунках 3 и 4 приведен внешний вид шестерен исследуемых коробок передач, подвергшихся предварительно метрологической проверке для определения степени изнашивания боковых поверхностей их зубьев. Согласно ее данным, а также внешнему виду зубчатых колёс, можно сделать вывод о том, что они - в удовлетворительном, работоспособном состоянии, непредельной степени изнашивания. Следует заметить, что при описываемых испытаниях техническое состояние подшипников в исследуемых коробок передач пребывали было нормативным для целей исключения их влияния на вибрационные характеристики.



*Рисунок 3 - Шестерни коробки передач производства ООО «Нижегородские моторы», износ боковых поверхностей которых составляет 2% от предельно допустимого:*

*а - первой ступени; б - второй ступени; в - третьей ступени (два комплекта); г - задней ступени, д - ступени постоянного зацепления; е - пятой ступени (два комплекта)*

Шестерни коробки передач, приведённой на (рис. 2б), изначально установленные на её валах, были заменены указанными на (рис. 3). После чего была проведена окончательная сборка и установка на моторный стенд. Затем были проведены согласно принятой методике [9], а так же обработка полученной диагностической информации, которую можно признать универсальной, ввиду того, что изнашивание боковых поверхностей зубьев шестерен сопровождает работу любых коробок передач автотранспортной техники. После проведения цикла испытаний с коробкой передач, указанной на (рис. 2б), она была демонтирована со стенда. На ее место установлена коробка передач, показанная на (рис. 2в), на которую предварительно были монтированы шестерни, приведенные на (рис. 4).



**Рисунок 4 - Шестерни коробки передач производства ООО «Нижегородские моторы», износ боковых поверхностей которых составляет 80% от предельно допустимого:**  
 а - первой ступени; б - второй ступени; в - третьей ступени (два комплекта); г - задней ступени,  
 д - ступени постоянного зацепления; е - пятой ступени (два комплекта)

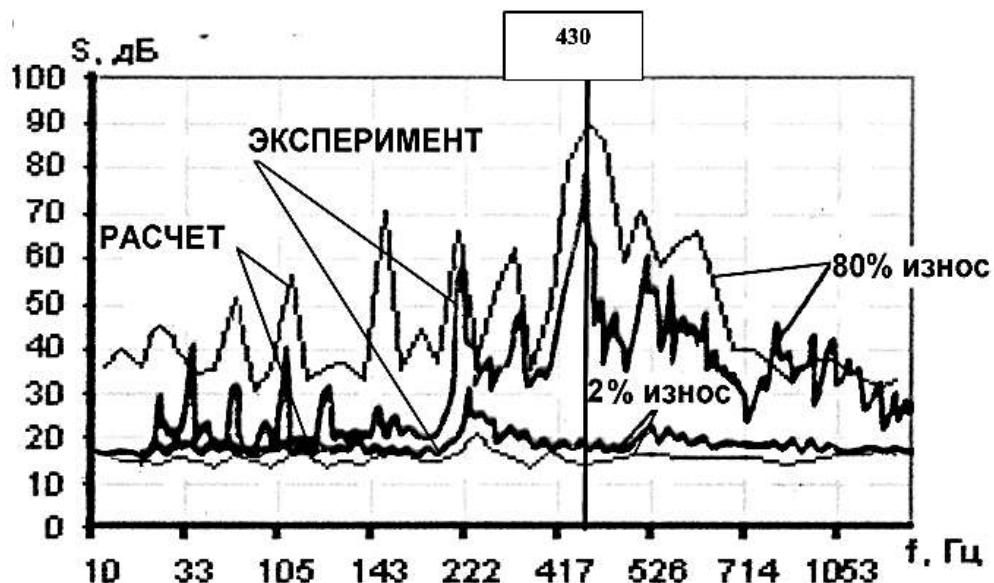
Испытания коробок передач, проведенных на (рис.2) осуществлялись на различных ступенях. Для проверки соответствия результатов стенового и расчетного, в среде *MathCAD 15.0*, экспериментов графики спектров мощности вибраций, впоследствии накладывались друг на друга.

#### **Результаты и обсуждение**

Увеличение интенсивности изнашивания боковых поверхностей зубьев шестерен в ходе эксплуатации, как правило, обусловлено влиянием силовых перегрузок, вызывающих повышенное контактное трение. Так же причиной данных силовых перегрузок могут являться некачественные ремонтно-технологические операции. В ходе них, например, могут иметь место отклонения от технологии, (при центрировании вторичного вала, нештатного преднатяга подшипников и др.). Всё это, в итоге, является причиной сокращения механического ресурса шестерен. Так же известно, что долговечность зубчатых колёс зависит от их класса точности, ввиду изначально меньшего конструкционного зазора в зацеплении.

При описываемых испытаниях зубчатые колеса, (рис. 3), устанавливались с преднамеренным внесением названных погрешностей. На рисунке 5 приведен пример графиков

спектральной характеристики вибрационного сигнала, коробки передач производства ООО «Нижегородские моторы». Приведены графики для на 3-й ступени. Испытательные режимы при этом выбирались согласно методике, приведенной в [5], так же, как и размещение датчиков на картере коробки передач.



*Рисунок 5 - График спектральной характеристики вибрационного сигнала шестерен 3-й ступени коробки передач производства ООО «Нижегородские моторы» (Завод коробок скоростей ОАО «Группа «ГАЗ»), полученной в ходе эксперимента при:*  
*- менее 2% износа боковых поверхностей зубьев от предельно допустимого;*  
*- не менее 80% износа боковых поверхностей зубьев от предельно допустимого*

Из проведенного графика видно, что увеличение изношенности боковых поверхностей зубьев вызывает увеличение амплитуд мощности спектра вибраций во всем частотном диапазоне. При значительной степени изнашивания увеличение амплитуды вибраций ярко выражено в области высоких частот. Из графика, приведенного на рисунке 5 видно, что для испытуемой 5-и ступенчатой коробки передач производства ООО «Нижегородские моторы», она увеличивается от 2,5 до 3 раз. На рисунке 5 на огибающую спектра вибрационного сигнала, полученного в ходе эксперимента, для наглядности наложены на графики таких же огибающих, полученных расчетом математической модели. На основании их вида можно сделать заключение о приемлемой их визуальной сходимости, что может свидетельствовать об адекватности предложенной в [10] математической модели.

#### **Выводы**

Повышение амплитуды спектра вибрации на характерной частоте, (для 3-й ступени при  $n = 2500 \text{ мин}^{-1}$ ), свидетельствует о появлении явления локального соударения кромок зубьев при вхождении их в зацепление. Общее повышение амплитуды в высокочастотных диапазонах - о возрастании трения в местах контактного взаимодействия, вследствие снижения квалитетов поверхностей. Конструкционные особенности шестерен, приведенных на рисунках 3 и 4, так же обуславливают это. Что так же находит свое подтверждение в численных математических расчетах [11-16]. Кроме того, можно так же сделать вывод о том, что подобные проявления также вызваны конструкцией картера коробки передач с вертикальным разъемом [17].

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Вейц В.Л., Кочура А.Е., Федотов А.И. Колебательные системы машинных агрегатов. Л.: ЛГУ, 1979. 256 с.
2. Вейц В.Л., Кочура А.Е. О математическом описании голономных механических систем // Прикладная механика. 1975. Т. 9. Вып. 11. С.23-28.
3. Вибрации в технике: справочник / В.С. Авдуевский, И.И. Артоболевский [и др.]; под ред. М.Д. Генина. М.: Машиностроение, 1981. Т5. 496 с.
4. Махоткин О.А., Тимофеев Ю.В.и др. Принципы построения систем акустической диагностики механизмов // Матер. к конф. – семинару. Новосибирск: СибВИМ. 1967. 106 с.
5. Лелиовский К.Я., Молев Ю.И. Определение на стенде вибрационных характеристик функционирования подшипников коробок передач и влияния на них эксплуатационных дефектов // Воронежский науч.-техн. вестник. Воронеж. 2023. Т.3. №3(45). С.87-97.
6. Лелиовский К.Я., Молев Ю.И. Расчет спектральных характеристик вибраций элементов трансмиссии транспортных средств, обусловленных эксплуатационными повреждениями // Вестник гражд. инженеров. СПб. 2024. №1(102). С. 95-103.
7. Асриян Г.М. Возможности диагностирования вибрации сложных динамических систем // Колебания редукторных систем. М.: Наука. 1980. С.70-74.
8. Соколов О.В. Методика определения нагрузочных характеристик шестерен // Автомобильная промышленность. 1978. №2. С. 30-31.
9. Лелиовский К.Я., Молев Ю.И. Определение текущего технического состояния агрегатов трансмиссии транспортных средств посредством вибродиагностики при тестовых заездах по дорожному спецучастку // Воронежский науч.-техн. вестник. Воронеж. 2023. Т.4. №4(46). С.97-106.
10. Лелиовский К.Я. Моделирование динамики трансмиссии транспортных средств, эксплуатирующихся в ухудшенных дорожных условиях // Мир транспорта и тран.-техн. машин. Орёл. 2023. №3-5(82). С. 18-25.
11. Альгин В.Б., Цитович И.С., Поддубко С.Н. Динамика агрегатов трансмиссии автомобиля. Минск: Высшая школа, 1989. 195 с.
12. Биргер И.А. Техническая диагностика. М.: Машиностроение, 1978. 240 с.
13. Вейц В.Л., Кочура А.Е. Динамика машинных агрегатов, работающих с двигателями внутреннего сгорания. Л.: Машиностроение, 1976. 384 с.
14. Вейц В.Л., Кочура А.Е. Эквивалентные динамические схемы многоступенчатых редукторов // Механика машин. 1975. Вып. 31-32. С. 123-136.
15. Вибрации в технике: справочник / В.С. Авдуевский, И.И. Артоболевский [и др.]; под ред. К.В. Фролова. – М.: Машиностроение, 1981. Т6. – 456 с.
16. Вибрации в технике: справочник / В.С. Авдуевский, И.И. Артоболевский [и др.]; под ред. Ф.М. Диментберга, К.С. Колесникова. М.: Машиностроение, 1981. Т3. 544 с.
17. Соколов О.В., Стефанович Ю.Г. О методике исследования режимов работы шестерен и подшипников трансмиссий в условиях эксплуатации // Труды НАМИ. 1972. №8. С. 55-66.

### **Лелиовский Константин Ярославич**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Адрес: 603950, Россия, г. Нижний Новгород, ул. Минина, д. 24

К.т.н., доцент кафедры «Строительные и дорожные машины»

E-mail: kleliovskiy@mail.ru

### **Корчажкин Михаил Георгиевич**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Адрес: 603950, Россия, г. Нижний Новгород, ул. Минина, д. 24

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

E-mail: kormg@list.ru

---

K.Y. LELIOVSKY, M.G. KORCHAZHKIN

## **DETERMINATION ON THE STAND OF THE EFFECT OF OPERATIONAL DEFECTS OF GEARS ON THE VIBRATION CHARACTERISTICS OF GEARBOXES**

**Abstract.** This article is devoted to the study of the influence of disturbing influences accompanying the operation of gearboxes, as one of the key units of power drives, on the spectral characteristics of vibration processes. Graphs of the dependence of the spectrum of the vibration signal of gears, recorded during bench tests simulating the occurrence of operational defects in them, are presented. The type of spectral characteristics reflecting the normal working condition of gears and the presence of defects in them is analyzed. A variant of the classification of the manifestation of defects and operational damage based on the spectral analysis of vibrations is given.

**Keywords:** vibration diagnostics, bench tests, gearboxes, gears, abrasive wear

## BIBLIOGRAPHY

1. Veys V.L., Kochura A.E., Fedotov A.I. Kolebatel'nye sistemy mashinnykh agregatov. L.: LGU, 1979. 256 s.
2. Veys V.L., Kochura A.E. O matematicheskem opisanii golonomnykh mekhanicheskikh sistem // Prikladnaya mekhanika. 1975. T. 9. Vyp. 11. S.23-28.
3. Vibratsii v tekhnike: spravochnik / V.S. Avduevskiy, I.I. Artobolevskiy [i dr.]; pod red. M.D. Genkina. M.: Mashinostroenie, 1981. T5. 496 s.
4. Makhotkin O.A., Timofeev YU.V.i dr. Printsipy postroeniya sistem akusticheskoy diagnostiki mekhanizmov // Mater. k konf. - seminaru. Novosibirsk: SibVIM. 1967. 106 s.
5. Leliovskiy K.YA., Molev YU.I. Opredelenie na stende vibratsionnykh kharakteristik funktsionirovaniya podshipnikov korobok peredach i vliyaniya na nikh ekspluatatsionnykh defektov // Voronezhskiy nauch.-tekhn. vestnik. Voronezh. 2023. T.3. №3(45). S.87-97.
6. Leliovskiy K.YA., Molev YU.I. Raschet spektral'nykh kharakteristik vibratsiy elementov transmissii transportnykh sredstv, obuslovlennykh ekspluatatsionnymi povrezhdeniyami // Vestnik grazhd. inzhenerov. SPb. 2024. №1(102). S. 95-103.
7. Asriyan G.M. Vozmozhnosti diagnostirovaniya vibratsii slozhnykh dinamicheskikh sistem // Kolebaniya reduktornyykh sistem. M.: Nauka. 1980. S.70-74.
8. Sokolov O.V. Metodika opredeleniya nagruzochnykh kharakteristik shesteren // Avtomobil'naya promyshlennost'. 1978. №2. S. 30-31.
9. Leliovskiy K.YA., Molev YU.I. Opredelenie tekushchego tekhnicheskogo sostoyaniya agregatov transmissii transportnykh sredstv posredstvom vibrodiagnostiki pri testovykh zaezdakh po dorozhnomu spetsuchastku // Voronezhskiy nauch.-tekhn. vestnik. Voronezh. 2023. T.4. №4(46). S.97-106.
10. Leliovskiy K.YA. Modelirovanie dinamiki transmissii transportnykh sredstv, ekspluatiruyushchikhsya v ukhudshennykh dorozhnykh usloviyakh // Mir transporta i tran.-tekhn. mashin. Oriol. 2023. №3-5(82). S. 18-25.
11. Al'gin V.B., Tsitovich I.S., Poddubko S.N. Dinamika agregatov transmissii avtomobiliya. Minsk: Vysshaya shkola, 1989. 195 s.
12. Birger I.A. Tekhnicheskaya diagnostika. M.: Mashinostroenie, 1978. 240 s.
13. Veys V.L., Kochura A.E. Dinamika mashinnykh agregatov, rabotayushchikh s dvigateleyami vnutrennego sgoraniya. L.: Mashinostroenie, 1976. 384 s.
14. Veys V.L., Kochura A.E. Ekvivalentnye dinamicheskie skhemy mnogostupenchatyykh reduktorov // Mekhanika mashin. 1975. Vyp. 31-32. S. 123-136.
15. Vibratsii v tekhnike: spravochnik / V.S. Avduevskiy, I.I. Artobolevskiy [i dr.]; pod red. K.V. Frolova. - M.: Mashinostroenie, 1981. T6. - 456 s.
16. Vibratsii v tekhnike: spravochnik / V.S. Avduevskiy, I.I. Artobolevskiy [i dr.]; pod red. F.M. Dimentberga, K.S. Kolesnikova. M.: Mashinostroenie, 1981. T3. 544 s.
17. Sokolov O.V., Stefanovich YU.G. O metodike issledovaniya rezhimov raboty shesteren i podshipnikov transmissii v usloviyakh ekspluatatsii // Trudy NAMI. 1972. №8. S. 55-66.

### Leliovsky Konstantin Yaroslavich

Nizhny Novgorod State Technical University

Address: 603950, Russia, Nizhny Novgorod, Minin str., 24

Candidate of technical sciences

E-mail: kleliovskiy@mail.ru

### Korchazhkin Mikhail Georgievich

Nizhny Novgorod State Technical University

Address: 603950, Russia, Nizhny Novgorod, Minin str., 24

Candidate of technical sciences

E-mail: kormg@mail.ru

УДК 656.015  
doi:10.33979/2073-7432-2025-1-3(88)-69-74

Р.А. СПОДАРЕВ

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ПАРКОВОЧНЫХ МЕСТ НА АВТОТРАНСПОРТНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

**Аннотация.** В статье рассмотрена проблема организации парковочного пространства перед логистическими предприятиями, а также представлены рекомендации по определению количества парковочных мест на территории самого транспортного предприятия. Проведено обследование количества транспортных средств, проходящих через предприятие, и транспортных средств, остающихся на территории предприятия для отдыха водителей. На основании этих данных проведена корректировка количества парковочных мест на транспортном предприятии.

**Ключевые слова:** логистические центры, парковочной пространство, грузовые перевозки, парковки, проектирование парковочного пространства

### **Введение**

Организация движения грузового транспорта на подъездах к крупным логистическим центрам и по их территории является распространенной проблемой. К решению этой проблемы необходимо подходить на стадии проектирования и подготовки технической документации. При этом многие вновь построенные промышленные предприятия, а также логистические парки в Российской Федерации не имеют стоянок для грузовых автомобилей перед въездом на территорию. Организация их работы подразумевает жесткие требования к времени, затрачиваемого на погрузку-разгрузку каждого транспортного средства (например, два часа). При планировании рейса в случае перевозки на дальние расстояния более 1000 км закладывается, что водитель при перевозке соблюдает обязательные правила перерывов на отдых, с использованием общественных парковок. Вместимость общественных парковок для грузовых автомобилей в России недостаточна. Поэтому в ночное время такие парковки полностью заполнены, и транспортные средства которые не смогли на них попасть паркуются в местах, не предусмотренных для парковки грузового транспорта. Такие места зачастую не приспособлены для парковки такого вида транспорта, и создают угрозу безопасности другим участникам дорожного движения.

При начальной стадии проектирования логистических и индустриальных парков, проектировщики, отвечающие за проектную часть должны иметь достоверные данные о количестве транспортных средств, которые будут проходить через проектируемое предприятие, и по этим данным производить расчет необходимого количества парковочных мест, и в обязательном порядке предусматривать накопительные площадки для ожидающих автомобилей.

Подход к решению проблемы для производственной компании заключается в последовательном выполнении шагов по сбору данных для корректировки проектной документации.

### **Материалы и методы**

В процессе проведения первого этапа производился подсчет транспортных средств, которые въезжали и выезжали с территории предприятия. При этом производился опрос водителей, и сверка данных, полученных с контрольно-пропускного пункта автопредприятия. Основной целью проведения такого опроса является такого опроса является анализ использованного времени на нахождение на территории при погрузке –выгрузке, а также маневрировании по территории предприятия.

При проведении обследования, которое заняло временной интервал с 5:38 до 11:40 было исследовано время нахождения транспортных средств, при этом их количество соста

вило 51 транспортное средство. Минимальное время оборота транспортных средств составило 39 минут, а максимальное 4 часа 9 минут. Среднее время оборота после расчета получилось равным 2 часа 5 минут.

В крупных производственных компаниях, где работа происходит круглосуточно, грузовые перевозки могут происходить очень интенсивно. Большинство транспортных предприятий требуют, чтобы перевозчики соблюдали окна погрузки, что означает, что каждое транспортное средство должно приезжать в определенный временной интервал, предоставляемый для погрузки-разгрузки (обычно в пределах 2 часов). Однако, если компания не предоставляет достаточное количество парковочных мест для грузовых транспортных средств, могут возникнуть проблемы. Например, переполненность парковочных мест может создавать сложности с проездом и создавать опасные дорожные ситуации. Кроме того, передвижение транспортных средств во время перерывов также может повлиять на безопасность других участников дорожного движения.

Транспортные компании не разрешают парковку грузового транспорта на прилегающих территориях, поскольку это приводит к возникновению сложностей проезда для других транспортных средств. Это также может осложнять дорожную ситуацию для соседних организаций, офисных зданий или жилой застройки.

Вторая проблема, с организацией грузовых перевозок, связана с соблюдением требований, касающихся автомобильного транспорта. Сбор информации в рамках исследования, показал, что среднее время оборота транспортного средства на конкретном транспортном предприятии составил 2 часа 9 минут с заданным времененным окном. Контроль за водителями показал, что они полностью выполняют требования в соответствии с режимом труда и отдыха. При этом поскольку у них нет возможности остановиться и припарковать свой автомобиль на территории компании, им приходится искать решение, чтобы не нарушать административное законодательство.

Также необходимо отметить недостаточное количество общественных парковок возле организаций, например, на заправочных станциях. Поэтому грузовой транспорт паркуется на дорогах общего пользования возле территории предприятия (рис. 1).



Рисунок 1 - Стоянка грузового транспорта

### Теория / Расчет

При расчете количества мест для паркования необходимо знать точное количество

транспортных средств, приезжающих на автопредприятие. Для этого был определен временной интервал, и выбрана дата проведения опроса. Опрос проводился 18 и 19 октября 2023 г. в заранее определенных пунктах, расположенных на отдельных въездах на предприятие, которых оказалось три. Для получения более достоверной информации было принято решение о проведении круглосуточного опроса. В связи с тем, что на обследуемом предприятии временное окно составляет 2 часа, то сутки были разбиты на двухчасовые интервалы. Полученные данные сведены в таблицу 1. Полученные данные представлены по каждому отдельному въезду.

Таблица 1 - Интенсивность въезда грузовых автомобилей категории N3

	12:00 14:00	14:00- 16:00	16:00 18:00	18:00 20:00	20:00 22:00	22:00 24:00	00:00 02:00	02:00 04:00	04:00 06:00	06:00 08:00	08:00 10:00	10:00 12:00
Вход 1	14	23	26	10	11	11	15	10	14	22	16	9
Вход 2	32	36	24	26	32	24	23	19	18	39	36	51
Вход 3	12	14	5	5	12	6	7	14	10	7	16	16
Общее	58	73	55	41	55	41	45	43	42	68	68	76

Из обобщенных данных таблицы 1 можно сделать вывод о том, что наибольшая интенсивность грузовых перевозок приходится на временной интервал с 10:00 и 12:00 часами. За этот временной интервал через три въезда прошло 76 грузовых автомобилей категории N3. Эти 76 транспортных средств провели около 2 часов прежде, чем им было разрешено въехать на территорию предприятия в ожидании погрузки. В связи с этим для них необходимо не менее 76 выделенных парковочных мест на территории предприятия. Было зафиксировано 655 грузовых транспортных средств, которые въехали на территорию предприятия и зафиксировано 645 автомобилей транспортных средств, которые выехали с территории предприятия. Для проведения расчета была использована следующая формула:

$$PPM = I_{max} + (PV_{DO} \cdot k_{pd}) + (PV_{TO} \cdot k_{pt}), \quad (1)$$

где  $PPM$  - необходимое для данного предприятия количество парковочных мест;

$I_{max}$  - максимальная интенсивность въезда транспортных средств в 2-часовом интервале;

$PV_{DO}$  - количество транспортных средств, водители которых оформляют суточный период отдыха;

$k_{pd}$  - коэффициент использования парковочного места транспортными средствами, водители которых ежедневно отдыхают;

$PV_{TO}$  - количество транспортных средств, водители, которые используют территорию предприятия для межрейсового отдыха;

$k_{pt}$  - коэффициент использования машино-места транспортными средствами, водители которых используют территорию предприятия для межрейсового отдыха.

Таблица 2 - Количество припаркованных автомобилей

Ежедневно	Вечер (19:00-19:30)	Утро (6:00-6:30)	Совпадение	Результат [%]*
№ ТС	34	45	22	3,23 %
Еженедельно	Суббота (07:00-8:30)	Утро (6:30-7:15)	Совпадение	Результат [%]*
№ ТС	33	39	23	3,46 %

\* рассчитано из общего количества прибывших транспортных средств во время опроса, (665 транспортных средств = 100 %).

### **Результаты**

Принимая во внимание ежедневный период отдыха в 11 часов коэффициент можно рассчитать, как:

$$k_{pd} = 24 \text{ ч} + 11 \text{ ч} = 2,182. \quad (2)$$

По итогу обследования было определено количество парковочных мест для транспортных средств, водители которых остаются территории предприятия для отдыха продолжительностью не менее 45 часов. В результате расчёта было определено 23 таких автомобиля. Поскольку расчет основан на 24-часовом обследовании, а регулярный еженедельный период отдыха составляет не менее 45 часов.  $k_{pt}$  - коэффициент учитывает, что транспортное средство, использующее 45-часовой еженедельный период отдыха, находится на стоянке более 24 часов.

$$k_{pt} = 45 \text{ часов} + 24 \text{ часа} = 1,875. \quad (3)$$

После этого полученные значения подставляем в формулу (1):

$$PPM = 76 + (22: 2,182) + (23 * 1,875) = 76 + 10,083 + 43,125.$$

$$PPM = 129,208 \text{ автомобилей.}$$

При данных условиях и с учетом интенсивности поступления грузов категории N3 транспортных средств, можно сделать вывод о необходимости обеспечения 130 парковочных мест.

### **Обсуждение**

Формула (1) может быть использована в качестве основы для общей методики расчета, которую можно использовать при строительстве новых или реконструкции уже работающих транспортных предприятий

$$PPM = I_{max} + (PVDO: k_{pd}) + (PVT0 * k_{pt}),$$

где  $k_{pd} = 2,182$  и  $k_{pt} = 1,875$ .

Для уточнения формулы (корректировка коэффициента) целесообразно провести дополнительные обследования.

Функция распределения случайной величины:

$$F(y) = \int_{y_0}^y \frac{b^{a \cdot (y-y_0)} e^{-a}}{I(a)} dy \quad (4)$$

$$F_e(y) = 1 - e^{-b(y-y_0)} \cdot \sum_{j=1}^{a-1} \frac{[b \cdot (y-y_0)]^j}{j!} \quad (5)$$

Параметр  $y_0$  (сдвиг) на практике рассчитывается как минимальное технологическое время, необходимое для загрузки или выгрузки грузового автомобиля с определенным грузом.

### **Выводы**

В результате проверки и корректировки, данных характеризующих количество парковочных мест на транспортном предприятии произведен перерасчет и определено необходимое количество парковочных мест, которое составило 130 машиномест.

Предложенная формула позволяет определить необходимое количество мест паркования на автотранспортном предприятии, реализующем свою деятельность в сфере грузовых перевозок, а также оказывающем логистические услуги.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- Артемов А.Ю., Зеликова Н.В., Зеликов В.А., Струков Ю.В. [и др.] Основные проблемы функционирования транспортной инфраструктуры городов // Транспорт. Экономика. Социальная сфера (Актуальные проблемы и их решения): сб. ст. VII Междунар. науч.-практ. конф. Пенза. 2020. С. 55-58.
- Шаталов Е.В., Зеликов В.А., Сподарев Р.А., Еркнапешян Е.Н. Анализ методов получения и обработки информации о безопасности движения в сфере автотранспортного обслуживания населения // Организация и безопасность дорожного движения: материалы 8 Всероссийской научно-практической конференции. Тюмень: ТюмГНГУ. 2015. С. 296-303. С. 303.

3. Artemov A.Yu., Dorokhin S.V., Drapalyuk M.V. Estimation of efficiency of different traffic management methods in isolated area // Transportation research Procedia : XIV International Conference on Organization and Traffic Safety Management in Large Cities (OTS-2020). Санкт-Петербург: Institute for Road Safety SPbGASU. 2020. P. 106-112. DOI 10.1016/j.trpro.2020.10.013.
4. Dorokhin S.V., Artemov A.Yu., Gigadlo A.P. Study of the process of introducing coordinated management on the principle of green wave // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: Sep. 4 2020 International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment. BRISTOL, ENGLAND: IOP Publishing Ltd. 2020. P. 012092. DOI 10.1088/1757-899X/971/5/052083.
5. Сподарев С.Р., Маслов Б.А., Васильев В.В., Сподарев Р.А., Феофилова А.А. Логистика въезда грузовых транспортных средств в логистические и индустриальные парки // Технология транспортных процессов: состояние, проблемы, перспективы: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Воронеж, 2023. С. 65-70.
6. Сподарев Р.А., Сидоров Б.А., Кубряков Е.А., Карапеев А.М. Проектирования парковочного пространства в мегаполисах с учетом топологии городов // Актуальные вопросы и перспективы развития современной науки: Материалы Национальной научно-практической конференции. Воронеж. 2022. С. 47-52.
7. Абалонин С.М., Пахомова А.В. Бизнес-план автотранспортного предприятия. М.: Транспорт, 1998. 54 с.
8. Абдукаримов И.Т., Беспалов М.В. Финансово-экономический анализ хозяйственной деятельности коммерческих организаций (анализ деловой активности): Учеб. пособие. М.: ИНФРА-М, 2019. 320 с.
9. Аксенова З.И., Бачурин А.А. Анализ производственно-хозяйственной деятельности автотранспортных предприятий. М.: Транспорт. 1990. 255 с.
10. Анисимов А.П. Экономика, планирование и анализ деятельности авто-транспортных предприятий. М.: Транспорт, 1998. 245 с.
11. Антошвили М.Е., Варелупуло Г.А., Хрущев М.В. Организация городских автобусных перевозок с применением математических методов и ЭВМ. М.: Транспорт, 1974. 104 с.
12. Афанасьев Л.Л., Цукерберг С.М. Автомобильные перевозки. М.: Транспорт, 1985. 144 с.
13. Бадан Х.З. Экономико-математическая модель роста предприятия. Вестник Удмуртского университета. 2009. №1. С. 5-9.
14. Багдасаров А.М., Цеханович И.А. Пассажирский автомобильный транспорт и организация его работы за рубежом. М.: МАДИ. 1983. 100 с.
15. Банк В.Р., Банк С.В., Тараксина А.В. Финансовый анализ: учеб. пособие. М.: Проспект, 2007. 344 с.
16. Барчуков А.В. Принятие финансовых решений на основе имитационного моделирования // Фин. менеджмент. 2008. №6. С. 25-39.
17. Горев А.Э., Олещенко Е.М. Организация автомобильных перевозок и безопасность движения: Учеб. пособие. М.: Академия, 2006. 256 с.
18. Глухарев Ю.Г. Критериально-статистический анализ экономической эффективности предприятия // Математические методы в технике и технологиях (ММТТ-21). 2008. С. 22-25.
19. Зырянов В.В., Миронюк В.П., Шабанов А.В. Методы формирования региональных транспортно-логистических систем: Учеб. пособие. Ростов-на-Дону: Ростовский государственный строительный университет, 2004. 174 с.

**Сподарев Руслан Александрович**

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова

Адрес: 394087, Россия, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8

Ст. преподаватель кафедры «Организация перевозок и безопасности движения»

E-mail: spruslan78@mail.ru

---

R.A. SPODAREV

## **DETERMINATION OF THE NUMBER OF PARKING SPACES AT A MOTOR TRANSPORT COMPANY**

**Abstract.** The article considers the problem of organizing parking space in front of logistics enterprises, and also provides recommendations for determining the number of parking spaces on the territory of the transport enterprise itself. Surveys of the number of vehicles passing through the enterprise and vehicles remaining on the territory of the enterprise for drivers' rest were conducted. Based on these data, an adjustment was made to the number of parking spaces at the transport company.

**Keywords:** logistics centers, parking space, freight transportation, parking, parking space design

## BIBLIOGRAPHY

1. Artemov A.YU., Zelikova N.V., Zelikov V.A., Strukov YU.V. [i dr.] Osnovnye problemy funktsionirovaniya transportnoy infrastruktury gorodov // Transport. Ekonomika. Sotsial'naya sfera (Aktual'nye problemy i ikh resheniya): sb. st. VII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Penza. 2020. S. 55-58.
2. Shatalov E.V., Zelikov V.A., Spodarev R.A., Erknapeshtyan E.N. Analiz metodov polucheniya i obrabotki informatsii o bezopasnosti dvizheniya v sfere avtotransportnogo obsluzhivaniya naseleniya // Organizatsiya i bezopasnost` dorozhnogo dvizheniya: materialy 8 Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Tyumen`: TyumGNGU. 2015. S. 296-303. S. 303.
3. Artemov A.Yu., Dorokhin S.V., Drapalyuk M.V. Estimation of efficiency of different traffic management methods in isolated area // Transportation research Procedia : XIV International Conference on Organization and Traffic Safety Management in Large Cities (OTS-2020). Sankt-Peterburg: Institute for Road Safety SPbGASU. 2020. P. 106-112. DOI 10.1016/j.trpro.2020.10.013.
4. Dorokhin S.V., Artemov A.Yu., Gigadlo A.P. Study of the process of introducing coordinated management on the principle of green wave // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: Ser. 4 2020 International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment. BRISTOL, ENGLAND: IOP Publishing Ltd. 2020. P. 012092. DOI 10.1088/1757-899X/971/5/052083.
5. Spodarev S.R., Maslov B.A., Vasil'ev V.V., Spodarev R.A., Feofilova A.A. Logistika v"ezda gruzovykh transportnykh sredstv v logisticheskie i industrial'nye parki // Tekhnologiya transportnykh protsessov: sostoyanie, problemy, perspektivy: Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Voronezh, 2023. S. 65-70.
6. Spodarev R.A., Sidorov B.A., Kubryakov E.A., Karandeev A.M. Proektirovaniya parkovochnogo prostranstva v megapolisakh s uchetom topologii gorodov // Aktual'nye voprosy i perspektivy razvitiya sovremennoy nauki: Materialy Natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Voronezh. 2022. S. 47-52.
7. Abalonin S.M., Pakhomova A.V. Biznes-plan avtotransportnogo predpriyatiya. M.: Transport, 1998. 54 s.
8. Abdurakimov I.T., Bespalov M.V. Finansovo-ekonomicheskiy analiz khozyaystvennoy deyatel`nosti kommerscheskikh organizatsiy (analiz delovoy aktivnosti): Ucheb. posobie. M.: INFRA-M, 2019. 320 s.
9. Aksanova Z.I., Bachurin A.A. Analiz proizvodstvenno-khozyaystvennoy deyatel`nosti avtotransportnykh predpriyatiy. M.: Transport. 1990. 255 s.
10. Anisimov A.P. Ekonomika, planirovanie i analiz deyatel`nosti avtotransportnykh predpriyatiy. M.: Transport, 1998. 245 s.
11. Antoshvili M.E., Varelopulo G.A., Hrushchev M.V. Organizatsiya gorodskikh avtobusnykh perevozok s primenaniem matematicheskikh metodov i EVM. M.: Transport, 1974. 104 s.
12. Afanas`ev L.L., Tsukerberg S.M. Avtomobil`nye perevozki. M.: Transport, 1985. 144 s.
13. Badan X.3. Ekonomiko-matematicheskaya model` rosta predpriyatiya. Vestnik Udmurtskogo universiteta. 2009. №1. S. 5-9.
14. Bagdasarov A.M., Tsekhanovich I.A. Passazhirskiy avtomobil`nyy transport i organizatsiya ego raboty za rubezhom. M.: MADI. 1983. 100 s.
15. Bank V.R., Bank S.V., Taraskina A.V. Finansovyy analiz: ucheb. posobie. M.: Prospekt, 2007. 344 s.
16. Barchukov A.V. Prinyatie finansovykh resheniy na osnove imitatsionnogo modelirovaniya // Fin. menedzhment. 2008. №6. S. 25-39.
17. Gorev A.E., Oleshchenko E.M. Organizatsiya avtomobil`nykh perevozok i bezopasnost` dvizheniya: Ucheb. posobie. M.: Akademiya, 2006. 256 s.
18. Glukharev YU.G. Kriterial`no-statisticheskiy analiz ekonomiceskoy effektivnosti predpriyatiya // Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyakh (MMTT-21). 2008. S. 22-25.
19. Zyryanov V.V., Mironyuk V.P., Shabanov A.V. Metody formirovaniya regional`nykh transportno-logisticheskikh sistem: Ucheb. posobie. Rostov-na-Donu: Rostovskiy gosudarstvennyy stroitel`nyy universitet, 2004. 174 s.

**Spodarev Ruslan Alexandrovich**

Voronezh State Forestry University

Address: 394087, Russia, Voronezh, ul. Timiryazeva, 8

Art. lecturer of the Department

E-mail: spruslan78@mail.ru

УДК 621.431.73  
doi:10.33979/2073-7432-2025-1-3(88)-75-81

А.С. КУРОЧКИН, А.Д. КУСТИКОВ, М.Г. КОРЧАЖКИН, Л.А. БЕРДНИКОВ

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРИОДИЧНОСТИ ОБСЛУЖИВАНИЙ ВАРИАТОРНЫХ КОРОБОК ПЕРЕДАЧ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

**Аннотация.** Проведены исследования показателей надежности вариаторных коробок передач, установленных на легковых автомобилях. Установлены особенности их работы, проведен анализ отказов. Построена модель надежности вариаторной коробки передач CVT RE0F10A. Определена оптимальная периодичность обслуживания исследуемого типа коробок передач. Разработаны рекомендации по корректированию периодичности обслуживания.

**Ключевые слова:** вариаторная коробка передач, отказ, техническое обслуживание, периодичность обслуживания

### ***Введение***

Современные автомобили комплектуются различными типами агрегатов и узлов, передающих крутящий момент, на колеса. На легковых автомобилях популярность набирают вариаторные коробки передач CVT, встречающийся как на седанах, так и на кроссоверах, даже некоторых внедорожниках.

Модификация вариатора CVT RE0F10A была предназначена для переднеприводных и полноприводных автомобилей Nissan: Qashqai, X-Trail, Tiida, Juke; Mitsubishi Outlander и ASX; Peugeot: 4007 и 4008; Suzuki SX4 и Kizashi; Citroen C-Crosser; Dodge Caliber с объемом от 1,6 до 2,5 литров. По мнению многих специалистов, данная трансмиссия является одной из лучших разработок вариаторов в мире. Фактически модификация трансмиссии CVT JF011 представляет собой вариатор второго поколения, в котором управление осуществляется при помощи полностью автоматической системы. Этот вариатор использует гидротрансформатор с целью обеспечения оптимальной движущей силы, которая реагирует на открытие дроссельной заслонки, обеспечивая плавное непрерывное изменение передаточного отношения [1-3]. В большинстве версий предусмотрена функция ручного переключения как для плавного вождения без ударов при переключении, так и для приятного вождения с ручным выбором передаточного числа. Одной из особенностей данной АКП является использование сразу двух фильтров. Тем самым обеспечивается максимальное качество системы смазки, что, в свою очередь, позволяет продлить срок службы трансмиссии [4].

**Цель работы** – разработка эксплуатационных и ремонтно-технологических мероприятий, направленных на повышение безотказности, и определение оптимальной периодичности замены трансмиссионного масла в АКП с вариаторными КП Jatco JF011E (рис. 1).

При проведении исследований была собрана первичная информация об отказах по результатам эксплуатации 30 автомобилей, оснащенных вариаторными КП, в условиях г. Н.Новгород. Проведен анализ отказов КП по видам (рис. 2).



Рисунок 1 – Устройство вариатора JF011E

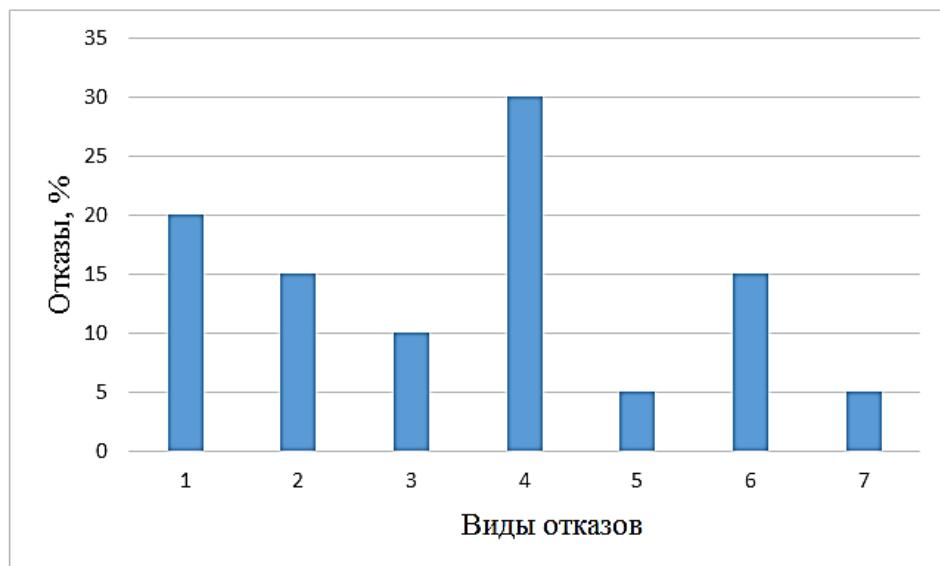


Рисунок 2 – Диаграмма отказов работы вариаторной КП CVT RE0F10A:

1 – растяжение ремня; 2 – отказ редукционного клапана; 3 – износ фрикционных дисков; 4 – износ подшипников;  
5 – отказ ступ-мотора; 6 – износ ведущего и ведомого конусов; 7 – гидроблок

Таблица 1 – Распределение отказов вариаторных КП

Дефект	Количество дефектов на 30 автомобилей	%
Растяжение ремня	6	20
Отказ редукционного клапана	4,5	15
Износ фрикционных дисков	3	10
Износ подшипников	9	30
Отказ ступ-мотора	1,5	5
Износ ведущего и ведомого конусов	4,5	15
Гидроблок	1,5	5

### Теория

Наиболее массовым дефектом этого вариатора является износ подшипников ведущего и ведомого валов, что выражается в сильном гуле от трансмиссии при движении машины (рис. 2). Причиной дефекта являются перегрузки и критический износ ремня, заставляющий соленоиды подавать максимальное усилие на прижатие ремня к конусам. Мелкая металлическая взвесь от износа фрикционов ускоряет износ роликов и обойм [5-7].

На втором месте идет растяжение ремня (рис. 3). Нередко он вытягивается еще до 100 000 км. За последнее время срок эксплуатации ремней значительно увеличился, но производитель вариаторов рекомендует замену ремня после 150 000 км, если автомобиль экс-

плуатируется и зимой. Классическим примером износа ремня является наличие насечек на рабочей поверхности, которые съедаются на 60-90 %.

Указанная рекомендация исходит из того факта, что при растягивании стягивающих лент, как только датчиками будет отмечаться проскальзывание ремня по конусам, компьютер через соленоиды увеличивает давление на конуса [8, 15]. Такой порядок действий увеличивает разрывную нагрузку на ремни, вплоть до максимального значения. Максимальное давление вызывает не только растяжение ленты, что приводит к зазорам между сегментами и их наклоне к нормали конусов (рис. 4), но и возникает усталость металла ленты. Повышенное давление может снизить срок службы подшипников (рис. 5).

Причиной по которой фрикционные диски изнашиваются являются истончение или износ тефлоновых колец [9]. Из за износа колец происходит потеря давления что приводит к проскальзыванию фрикционных дисков (рис. 6).



*Рисунок 3 – растяжение ремня*



*Рисунок 4 – износ конусов*



*Рисунок 5 – износ подшипников*



*Рисунок 6 – износ фрикционных дисков*

#### Изменение свойств трансмиссионного масла

Тепло, выделяющееся при работе АКП, передается через стенки окружающему воздуху, поэтому, если работа вариатора происходит без перегрева, то существует разница температуры окружающей среды и трансмиссионного масла:

$$\Delta t = t_m - t_b \leq [\Delta t].$$

Вычислили действительную температуру трансмиссионной жидкости в вариаторе (в дневные часы температуру воздуха приняли  $t_b = 20^\circ\text{C}$ ):

$$t_m = t_b + \frac{P \cdot (1-\eta)}{K_T \cdot S \cdot (1+\Psi)}.$$

Рассчитав температуру трансмиссионной жидкости получили значение  $t_m = 92^\circ\text{C}$ , в свою очередь разница температур с окружающей средой составляет  $72^\circ\text{C}$ .

Полученные значения показывают, что требуется корректировка периодичности ТО для улучшения работы вариатора в нормальных температурных режимах.

Корректирование обслуживания вариаторных КП

В эксперименте участвовали 30 автомобилей, которые обращались с жалобами на работу вариатора, а именно рывки при движении автомобиля. В ходе дефектовки коробок были обнаружены неисправности в виде износа подшипников, растяжения приводного ремня, износа ведущих и ведомых конусов [10-13]. Параллельно собраны пробы масла (табл. 2) на каждом вариаторе и проводили анализ в лаборатории. В результате получено, что на каждом автомобиле, который поступил с жалобой на вариатор, масло достигало предельное значение массовой доли механических примесей.

**Результаты и обсуждение**

Методом допустимого уровня безотказности скорректирована периодичность замены масла в коробке передач.

Таблица 2 – Наработка, при которых значение массовой доли механических примесей в трансмиссионном масле в АКП принимало критическое значение, км

1	2	3	4	5	6
52263	49879	53485	51046	56230	55367
7	8	9	10	11	12
49876	52489	57231	52503	48678	53210
13	14	15	16	17	18
52115	53124	54923	53499	53086	54456
19	20	21	22	23	24
49993	52257	48031	52137	51722	51948
25	26	27	28	29	30
50023	55303	54920	53546	53215	52954

Сделана статистическая оценка закона распределения данной выборки и определены основные статистические параметры.

На интервалы разбит диапазон значений наработок на отказ автомобилей выборки:  $I \approx 5$  – число интервалов;  $\Delta X \approx 1840$  км – шаг интервала.

Произведена статистическая обработка наработок до отказа (табл. 3)

Таблица 3 – Статистическая обработка данных

№	Границы интервала	$X_i$	$m_i^I$	$\sum m_i^I$	$W_i^I$	$F_i^I$	$f_i^I \cdot 10^{-3}$	$P_i^I$
1	48031-49871	48951	2	2	0,067	0,067	0,036	0,933
2	49871-51711	50791	5	7	0,167	0,234	0,091	0,766
3	51711-53551	52631	16	23	0,533	0,767	0,290	0,233
4	53551-55391	54471	5	28	0,167	0,934	0,091	0,066
5	55391-57231	56311	2	30	0,067	1,000	0,036	0,000

Получены точечные характеристики распределения наработки на отказ исследуемого агрегата: средняя наработка  $\bar{X} = 52684$  км; дисперсия распределения  $D = 2948284$  км; среднее квадратическое отклонение  $\sigma_X \approx 1717$  км; коэффициент вариации  $v = 0,03$

Построена гистограмма плотности распределения отказов и выдвинута гипотеза о законе распределения случайной величины X, как указано на рисунке 7.

Исходя из построенной гистограммы сделано предположение, что закон распределение данных наработок до отказа подчиняется нормальному закону (закон Гаусса) [14].

Определены теоретические значения параметров выборки (табл. 4).

$$F_D = \int_0^{l_0} f(X)dX = F\left(\frac{l_0 - \bar{X}}{\sigma}\right).$$

Величину риска принимаем  $F_D = 0,1$  (как для КЭ автомобиля, не отвечающего за безопасность движения). По таблице нормального распределения имеем, что при  $F(z)=0,1$ ,  $z=-1,28$ , тогда оптимальная периодичность принимает значение:

$$\frac{l_0 - \bar{X}}{\sigma} = -1,28; \quad l_0 = -1,28 \cdot \sigma + \bar{X} = -1,28 \cdot 1717 + 52684 = 50486 \text{ км.}$$

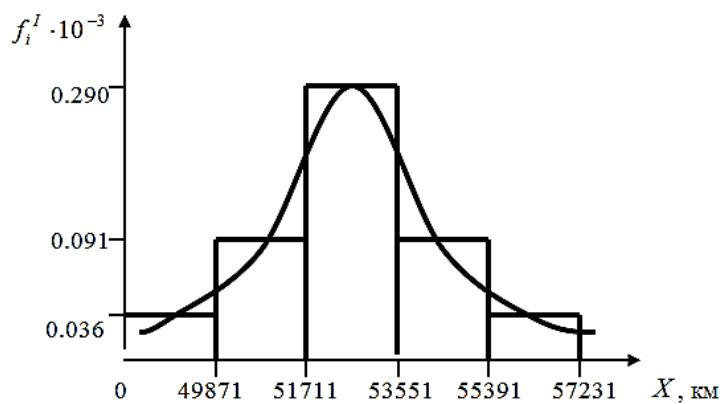


Рисунок 7 – Гистограмма плотности распределения отказов

Таблица 4 – Теоретические значения параметров выборки

№	$X_i$	$f(X) \cdot 10^{-4}$	$m_i$	$W_i$	$F_i$	$P_i$	$(m_i^I - m_i)^2 / m_i$
1	48951	0,22	1,2	0,04	0,015	0,985	0,533
2	50791	1,28	7,1	0,24	0,136	0,864	0,621
3	52631	2,33	12,86	0,43	0,485	0,515	0,767
4	54471	1,30	7,2	0,25	0,845	0,155	0,672
5	56311	0,25	1,38	0,05	0,982	0,018	0,279

Вероятность отказа исследуемой АКП ( $F_d$  – риск) определяется по выражению:

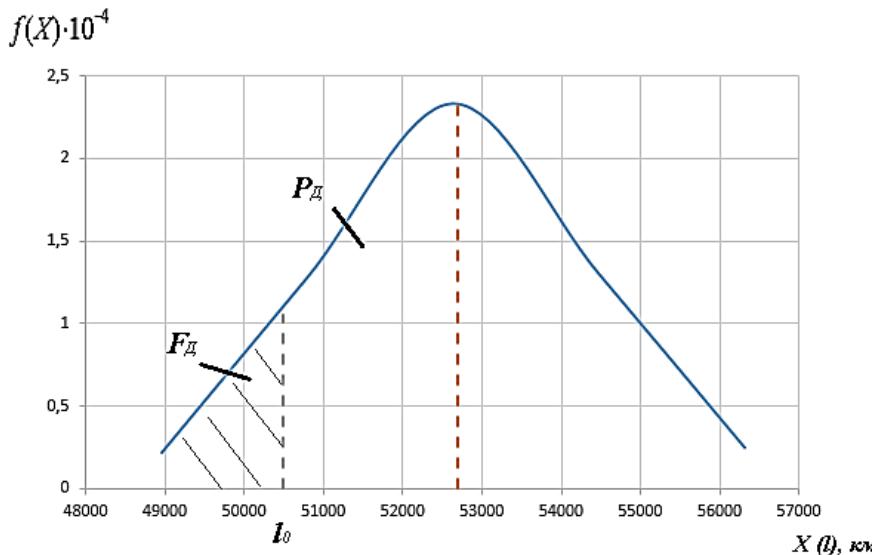


Рисунок 8 – График плотности вероятности отказов

Исходя из этого, оптимальная периодичность проведения операции по замене трансмиссионного масла составляет  $l_0 = 50486$  км.

#### Вывод

В ходе исследовательской работы значение оптимальной периодичности по замене масла для городских условий составило 50486 км для. Полученное значение является оптимальным регламентом для проведения замены масла при городской эксплуатации. В реальности смещают к ближайшему рекомендованному ТО. Так, при установленной периодичности ТО автомобиля равной 15000 км, обслуживание вариаторной КП рекомендуется совместить с третьим ТО, проводимым на пробеге 45000 км.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корчажкин М.Г., Кузьмин Н.А., Кустиков А.Д. Совершенствование нормативов технической эксплуатации городских автобусов // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2012. №4 (97). С. 168-174.

2. Кузьмин Н.А., Борисов Г.В. Научные основы процессов изменения технического состояния автомобилей: монография. Н. Новгород: Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева, 2012. 270 с.
3. Кузьмин Н.А., Кустиков А.Д. Проблемы надежности трансмиссий городских автобусов // Автотранспортное предприятие. 2013. №8. С. 39-42.
4. Кустиков А.Д., Кузьмин Н.А. Диагностика современных автомобилей. М: Инфра-М, Высшее образование. Магистратура, 2021. 229с.
5. Кустиков А.Д. Обоснование корректирования периодичности обслуживаний коробок передач автобусов для условий дорог с переменным продольным профилем: Дис. ... канд. техн. наук. Н.Новгород: НГТУ, 2015. 176 с.
6. Кустиков А.Д., Борисов Г.В. Повышение долговечности рулевых реек путем корректирования периодичности замены масла. Оренбург: Интеллект. Инновации. Инвестиции. №6, 2022. С. 79-87.
7. Кустиков А.Д., Кузьмин Н.А. Корректирование периодичности обслуживаний редукторов задних мостов автобусов при эксплуатации по грунтовым дорогам // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2019. №4 (106).
8. Бондаренко Е.В., Дрючин Д.А., Булатов С.В. Оценка целесообразности организации входного контроля качества запасных частей в условиях автотранспортного предприятия // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2021. №2. С. 71-78.
9. Бойко Н.Е., Калинина Е.А. Повышение эффективности функционирования автотранспортного предприятия на базе системного подхода к управлению службой ремонта // Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева. 2019. Т. 2. №1. С. 49-59.
10. Игнатов А.В., Басков В.Н. Интегральная оценка процесса эксплуатации машинно-тракторного парка // Научное обозрение. 2011. №6. С. 92-97.
11. Басков В.Н., Игнатов А.В. Влияние режимов работы ДВС на загрязнение окружающей среды // Мир транспорта и технологических машин. 2018. №3(62). С. 112-118.
12. Черняев И.О., Воробьев С.А., Евтуков С.А. Способ оперативной индивидуальной корректировки периодичности технического обслуживания автотранспортных средств // Вестник гражданских инженеров. 2020. №2(79). С. 202-207.
13. Грушецкий С.М., Евтуков С.А., Репин С.В., Кузнецов А.А. Определение технической и эксплуатационной производительностей дорожных машин на основе анализа объемов работ // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2021. №1. С. 38-52.
14. Шиловский В.Н., Гольштейн Г.Ю. Методические основы обоснования мощностей объекта технического сервиса // Resources and Technology. 2020. Т. 17. №4. С. 95-106.
15. Бойко Н.Е., Лобырев С.С. Система управления ремонтной службой автотранспортного предприятия // Инновационно-промышленный потенциал развития экономики регионов: Материалы IV-й Международной научно-практической конференции. Брянск. 2017. С. 538-541.

**Курочкин Андрей Сергеевич**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (НГТУ)

Адрес: 603900, Россия, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24

Студент

E-mail: andrey.kurochkin.2015@mail.ru

**Кустиков Александр Дмитриевич**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (НГТУ)

Адрес: 603900, Россия, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24

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

E-mail: kustikov-ad@yandex.ru

**Корчажкин Михаил Георгиевич**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (НГТУ)

Адрес: 603900, Россия, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24

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

E-mail: kormg@list.ru

**Бердников Леонид Анатольевич**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (НГТУ)

Адрес: 603900, Россия, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24

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

E-mail: berkornntu@yandex.ru

---

A.S. KUROCHKIN, A.D. KUSTIKOV, M.G. KORCHAZHKIN, L.A. BERDNIKOV

**DETERMINATION OF THE FREQUENCY OF CONTINUOUSLY VARIABLE TRANSMISSION MAINTENANCE OF PASSENGER CARS IN URBAN OPERATION**

*Abstract. Studies of reliability indicators of variator gearboxes installed on passenger cars*

have been conducted. The peculiarities of their work have been established, and a failure analysis has been carried out. A reliability model of CVT RE0F10A CVT transmission is constructed. The optimal frequency of maintenance of the studied type of gearboxes has been determined. Recommendations have been developed to adjust the frequency of maintenance.

**Keywords:** variable transmission, failure, maintenance, maintenance frequency

## BIBLIOGRAPHY

1. Korchazhkin M.G., Kuz'min N.A., Kustikov A.D. Sovershenstvovanie normativov tekhnicheskoy ekspluatatsii gorodskikh avtobusov // Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva. 2012. №4 (97). S. 168-174.
2. Kuz'min N.A., Borisov G.V. Nauchnye osnovy protsessov izmeneniya tekhnicheskogo sostoyaniya avtomobiley: monografiya. N. Novgorod: Nizhegorod. gos. tekhn. un-t im. R.E. Alekseeva, 2012. 270 s.
3. Kuz'min N.A., Kustikov A.D. Problemy nadezhnosti transmissiy gorodskikh avtobusov // Avtotransportnoe predpriyatiye. 2013. №8. S. 39-42.
4. Kustikov A.D., Kuz'min N.A. Diagnostika sovremennoykh avtomobiley. M: Infra-M, Vysshee obrazovanie. Magistratura, 2021. 229c.
5. Kustikov A.D. Obosnovanie korrektirovaniya periodichnosti obsluzhivaniy korobok peredach avtobusov dlya usloviy dorog s peremennym prodol'nym profilem: Dis. ... kand. tekhn. nauk. N.Novgorod: NGTU, 2015. 176 s.
6. Kustikov A.D., Borisov G.V. Povyshenie dolgovechnosti rulevykh reek putem korrektirovaniya periodichnosti zameny masla. Orenburg: Intellekt. Innovatsii. Investitsii. №6, 2022. S. 79-87.
7. Kustikov A.D., Kuz'min N.A. Korrektirovanie periodichnosti obsluzhivaniy reduktorov zadnikh mostov avtobusov pri ekspluatatsii po gruntovym dorogam // Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva, 2019. №4 (106).
8. Bondarenko E.V., Dryuchin D.A., Bulatov S.V. Otsenka tselesoobraznosti organizatsii vkhodnogo kontrolya kachestva zapasnykh chastej v usloviyakh avtotransportnogo predpriyatiya // Intellekt. Innovatsii. Investitsii. 2021. №2. S. 71-78.
9. Boyko N.E., Kalinina E.A. Povyshenie effektivnosti funktsionirovaniya avtotransportnogo predpriyatiya na baze sistemnogo podkhoda k upravleniyu sluzhboy remonta // Vestnik Volzhskogo universiteta im. V.N. Tatishcheva. 2019. T. 2. №1. S. 49-59.
10. Ignatov A.V., Baskov V.N. Integral'naya otsenka protsessa ekspluatatsii mashinno-traktornogo parka // Nauchnoe obozrenie. 2011. №6. S. 92-97.
11. Baskov V.N., Ignatov A.V. Vliyanie rezhimov raboty DVS na zagryaznenie okruzhayushchey sredy // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2018. №3(62). S. 112-118.
12. Chernyaev I.O., Vorob'ev S.A., Evtyukov S.A. Sposob operativnoy individual'noy korrektirovki periodichnosti tekhnicheskogo obsluzhivaniya avtotransportnykh sredstv // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2020. №2(79). S. 202-207.
13. Grushetskiy S.M., Evtyukov S.A., Repin S.V., Kuznetsov A.A. Opredelenie tekhnicheskoy i ekspluatatsionnoy proizvoditel'nostey dorozhnykh mashin na osnove analiza ob"iomov rabot // Nauchno-teknicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta. 2021. №1. S. 38-52.
14. Shilovskiy V.N., Gol'shteyn G.YU. Metodicheskie osnovy obosnovaniya moshchnostey ob"ekta tekhnicheskogo servisa // Resources and Technology. 2020. T. 17. №4. S. 95-106.
15. Boyko N.E., Lobyrev S.S. Sistema upravleniya remontnoy sluzhboy avtotransportnogo predpriyatiya // Innovatsionno-promyshlenny potentsial razvitiya ekonomiki regionov: Materialy IV-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Bryansk. 2017. S. 538-541.

**Kurochkin Andrey Sergeevich**

Nizhny Novgorod State Technical University  
Address: 603900, Russia, Nizhny Novgorod, st. Minina  
Student  
E-mail: andrey.kurochkin.2015@mail.ru

**Kustikov Alexander Dmitrievich**

Nizhny Novgorod State Technical University  
Address: 603900, Russia, Nizhny Novgorod, st. Minina  
Candidate of Technical Sciences  
E-mail: kustikov-ad@yandex.ru

**Korchazhkin Mikhail Georgievich**

Nizhny Novgorod State Technical University  
Address: 603900, Russia, Nizhny Novgorod, st. Minina  
Candidate of Technical Sciences  
E-mail: kormg@list.ru

**Berdnikov Leonid Anatolievich**

Nizhny Novgorod State Technical University  
Address: 603900, Russia, Nizhny Novgorod, st. Minina  
Candidate of Technical Sciences  
E-mail: berkornntu@yandex.ru

УДК 656.07  
doi:10.33979/2073-7432-2025-1-3(88)-82-89

Е.С. КОЗИН

## ОПТИМИЗАЦИЯ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ПРЕДПРИЯТИЙ АВТОМОБИЛЬНОГО СЕРВИСА

*Аннотация.* Рассмотрен подход по определению оптимальной организационной структуры предприятий автомобильного сервиса. Производственная структура предприятия представлена в виде технологического графа, надстройка над узлами которого представляет собой организационную структуру. Эффективность структуры предлагается оценить с помощью целевой функции суммарных затрат на содержание и работу административных звеньев. Приведен расчет по выбору оптимальной организационной структуры для станции технического обслуживания автомобилей при различном входящем потоке клиентов.

**Ключевые слова:** организационная структура, автомобильный транспорт, имитационное моделирование, оптимизация

### **Введение**

Одним из путей совершенствования технической эксплуатации автомобилей является система и организация технического обслуживания и ремонта (ТО и Р), эффективность которой может быть повышена за счет совершенствование технологии, организации и управления ТО и Р [4].

Под управлением понимают совокупность целенаправленных действий для перевода управляющей системы из начального в заранее заданное конечное состояние [23]. Целью управления является конечный технический или экономический результат, который может быть достигнут системой управления на определенном временном интервале ее функционирования [1]. При этом выделяют четыре основных функции управления: планирование; организация; мотивация и контроль [11]. Комплексная цель по повышению эффективности управления производством реализуется путем решения всех четырех задач в рамках представленных функций [2]. Задача организации производства может быть решена путем выбора соответствующей входящему в систему набору факторов организационной и производственной структуры.

Под производственной структурой технической службы автотранспортного предприятия понимают состав ее основных и вспомогательных подразделений, а также связи между ними в рамках совместного осуществления процессов обеспечения работоспособности машин [8]. Под организационной структурой технической службы понимается совокупность ее подразделений с зафиксированной системой взаимоподчинения, закрепленной ответственностью и правами, обеспечивающими возможность выполнения ответственности [12].

Вопросам формирования эффективной организационной структуры для предприятий автомобильного транспорта в настоящее время уделено недостаточное внимание. Перечень рекомендаций ограничен дискретными вариантами типовых организационно-производственных структур для комплексных автотранспортных предприятий, разработанных в конце прошлого века [5]. При этом не учтены влияющие на предприятие как на систему внешние факторы, изменение социально-экономических условий работы предприятий, а также современные методы исследования операций [3].

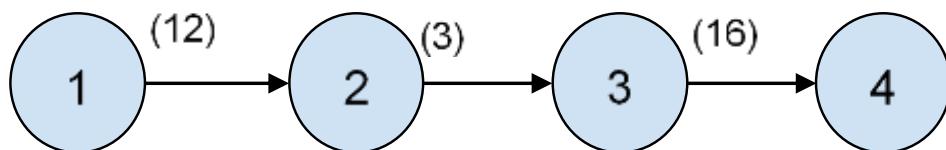
В связи с этим целью исследования является повышение эффективности управления технической эксплуатацией автомобилей путем оптимизации организационной структуры предприятий автомобильного сервиса. В основу исследования положено два концептуальных положения. Во-первых, система обеспечения работоспособности является динамической, т.е.

изменяющейся во времени, таким же образом изменяются и потоки требований на ресурсы предприятия. Во-вторых, управление системой должно адаптироваться под запросы рынка с учетом целесообразности добавления новых звеньев организационно-производственной структуры и технологических особенностей реализации производственных процессов.

### **Материал и методы**

В основу работы положена теория управления организационными системами [9], теория графов [7], имитационного моделирования [25] и исследования процессов [22]. Производственный процесс реализации технических воздействий над автомобилем представляет собой расположенный в горизонтальной плоскости ориентированный граф G [21]. Рассмотрим пример технологического графа некрупной станции технического обслуживания автомобилей с тремя узлами. Узлы графа в соответствии соответствуют основным бизнес-функциям или этапам реализации технологического процесса: прием автомобиля, мойка или диагностика, ТО или ремонт, выдача [13]. При этом количество постов ТО и Р равно четырем, а остальные звенья имеют по одному каналу исполнения. Поток технологического графа L в каждом узле соответствует количеству технологических операций (функций) внутри каждого звена - узла. Одно звено может выполнять одну или несколько функций, которые соответствуют перечню работ по ТО и Р автомобиля [24]. Например, для рассматриваемых условий мастер-приемщик выполняет функции приема звонков, приема и выдачи автомобилей, формирования документов и заданий механикам, направления автомобилей в ремонт, перегона внутри производственного корпуса и ряд других функций, суммарное количество которых равно 12, т.е. поток (или вес ветви графа)  $L_1 = (12)$ . Второе звено (узел графа) - пост по выполнению дополнительных работ или услуг (мойка, диагностика), выполняет такие основные функции как получение заказ-наряда, выбор и проведение технических воздействий,  $L_2 = (3)$ . Третье звено - пост по ТО и Р автомобилей - выполняет четыре функции, в которых дополнительно к звену 2 добавляется взаимодействие со складом. Однако одновременно в работах задействовано четыре поста т.е.  $L_3 = (4 \cdot 4 = 16)$ . Четвертый узел графа - успешный возврат автомобиля клиенту – является конечным.

Внешний вид такого графа представлен на рисунке 1.

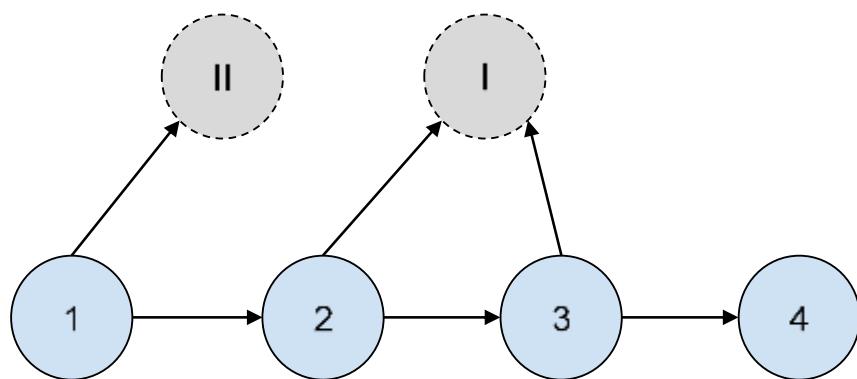


*Рисунок 1 - Технологический график станции технического обслуживания автомобилей с тремя функциональными звеньями*

Задача формирования организационной структуры для такого графа будет заключаться в создании структуры, которая бы контролировала потоки между отдельными элементами технологического графа. Такую структуру для краткости называют организацией [18]. То есть цель заключается в создании надстройки над технологическим графом в виде дерева, “верхними” узлами которого будут менеджеры-контролеры (административный аппарат), а “нижними” узлами - вершины технологического графа. Дуги дерева являются ориентированными и направлены от подчиненного к начальнику [10].

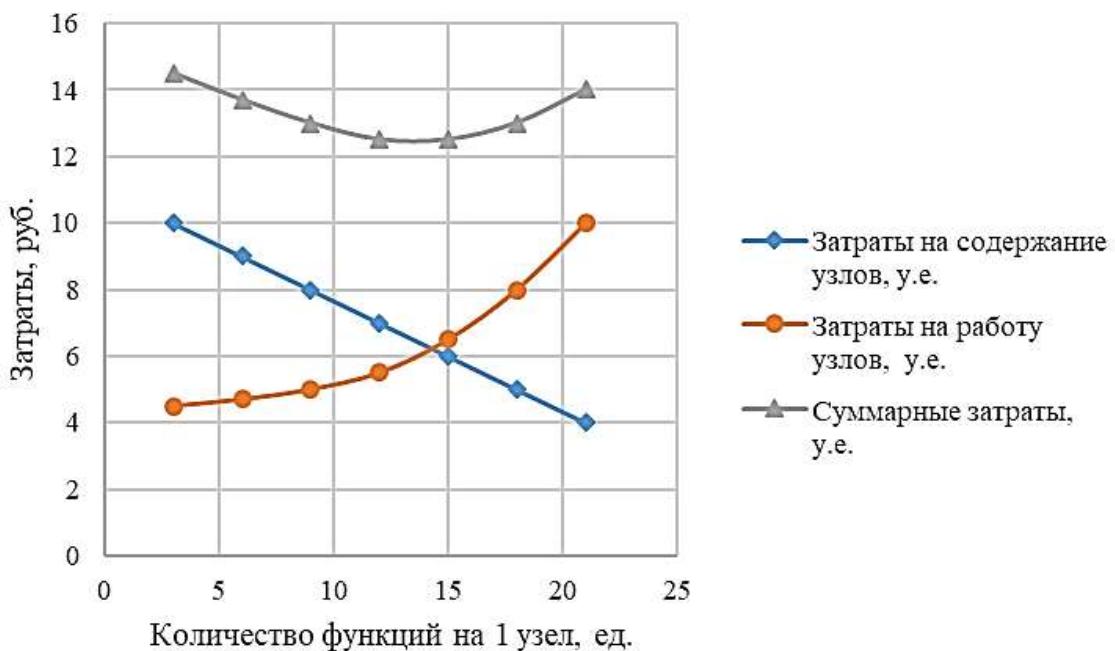
Пример возможного варианта такой «надстройки» представлен на рисунке 2.

В работе будет рассмотрено определение только первичного звена иерархии управления, остальные уровни можно определять аналогично представленной ниже методике. На рисунке изображена система управления, где подчиненными узла I являются все механики, непосредственно осуществляющие работы по ТО и Р автомобилей и дополнительным услугам, а мастер-приемщик подчиняется другому начальнику II. При этом узел I контролирует 19 функций, а узел II - 12 функций. Очевидно, что возможны и другие варианты администрирования представленного на рисунке 1 графа, например, одним менеджером, который будет контролировать все 31 функцию бизнес-процесса.



*Рисунок 2 – Пример организационной структуры для технологического графа, состоящей из двух административных узлов I и II*

Оценка разных вариантов организации дерева управления производится по критерию минимизации суммарной стоимости графа [14]. Стоимость графа состоит из затрат на содержание узлов графа организации и затрат на работу одного узла. Первая составляющая затрат зависит от количества узлов контроля (менеджеров), а вторая - от количества функций, контролируемых одним узлом. В источниках [15] утверждается, что у людей есть ограничения на перерабатываемый объем информации - каждая новая единица информации усваивается (и контролируется) тяжелее, чем предыдущая. Выделяют понятие «норма управляемости», которая равна семи подчиненным либо семи несвязанным между собой объектам – задачам или бизнес-функциям [19]. Можно предположить, что при увеличении количества контролируемых функций относительно семи вероятность возникновения ошибки будет расти [16]. Следовательно, функция затрат на работу одного узла будет расти при увеличении количества контролируемых функций на 1 узел. Эти затраты также можно назвать потерями, возникающими вследствие ошибок управления при большом количестве функций на одном менеджере [17]. При этом затраты на содержание узлов будут уменьшаться пропорционально уменьшению их количества, поскольку один руководящий узел будет забирать на себя контроль всех производственных функций [20]. Следовательно, график суммарной стоимости графа будет являться выпуклым и иметь вид, показанный на рисунке 3.



*Рисунок 3 – Характер изменения составляющих затрат целевой функции*

Таким образом, целевая функция для поиска оптимальной организационной структуры будет равна:

$$C_{\Sigma} = C_{\text{п.у.}} + C_{\text{с.у.}} = P_{\text{ощ.}} \cdot C_{\text{пот.}} \cdot N_{\text{кл.}} + m \cdot C_{\text{з.п.}} \rightarrow \min \quad (1)$$

где  $C_{\Sigma}$  – суммарные затраты на организационную структуру, руб.;

$C_{\text{п.у.}}$  – затраты на работу узлов контроля, руб.;

$C_{\text{с.у.}}$  – затраты на содержание узлов контроля, руб.;

$P_{\text{ощ.}}$  – вероятность потери клиента вследствие снижения эффективности контроля при превышении нормы управляемости на одном звене (для расчетов принимаем 0,5% на 1 функцию сверх 7);

$C_{\text{пот.}}$  – стоимость потери одного клиента в год, руб. (принимаем равным 10 тыс.руб.);

$N_{\text{кл.}}$  – годовое количество автомобиле-заездов на СТО, ед.;

$m$  – количество узлов контроля, ед.;

$C_{\text{з.п.}}$  – годовая заработка платформы одного управляющего работника, руб. (принимаем равным 70 тыс.руб.)

### Расчет

Приведем пример расчета стоимости графа для указанной на рисунке 1 функциональной схемы СТО с производственной программой 5000 автомобилей в год.

Общий перечень рассматриваемых вариантов для моделирования будет равен шести и соответствовать следующим условиям, представленным на рисунке 4.

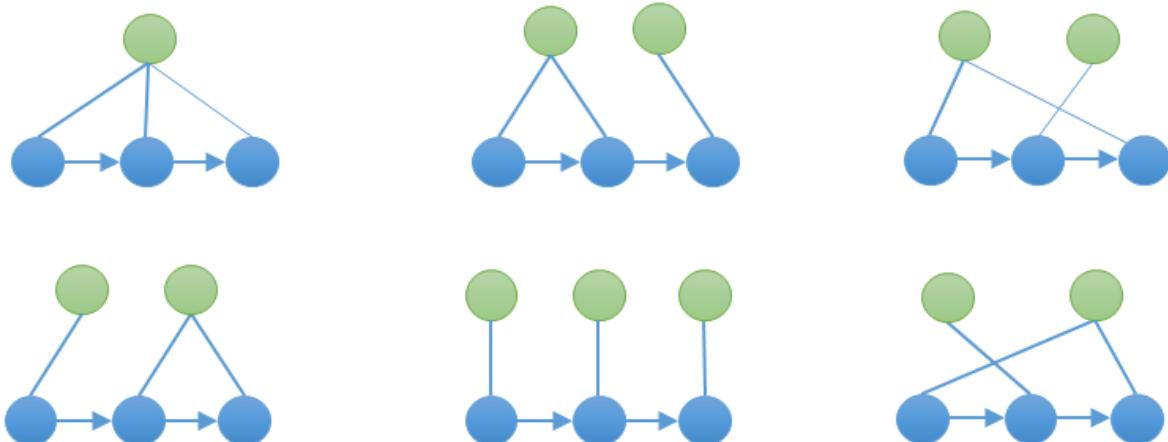


Рисунок 4 - Комбинации вариантов организационной структуры для трехзвенного технологического графа

1 вариант: менеджер I контролирует узлы 1, 2 и 3.

2 вариант: менеджер I контролирует узлы 1 и 2, а менеджер II - узел 3.

3 вариант: менеджер I контролирует узел 1 и 3, а менеджер II - узел 2.

4 вариант: менеджер I контролирует узел 1, а менеджер II - узел 2 и 3.

5 вариант: менеджер I контролирует узел 1, менеджер II - узел 2, менеджер III - узел 3.

6 вариант: менеджер I контролирует узел 2, а менеджер II - узел 1 и 3.

Результаты определения стоимости графа для всех рассматриваемых вариантов представлены в таблице 1.

Представленные выше расчеты проводились на имитационной модели при количестве клиентов  $N$ , равном 5000 в год, что примерно соответствует двум автомобиле-заездам в час. Такой поток клиентов характерен для некрупных станций технического обслуживания. Для изучения характера изменения организационной структуры под воздействием потока клиентов с разной интенсивностью были проведены расчеты для  $N = [3000, 5000, 7000, 9000, 11000]$ , что соответствует диапазону значений от малых до крупных СТО. Количество каналов обслуживания не изменялось относительно указанных выше значений. Результаты моделирования представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Значения составляющих затрат целевой функции для разных вариантов организационной структуры рассматриваемого предприятия

Варианты	Затраты на содержание узлов контроля, тыс. руб.	Затраты на работу узлов контроля, тыс. руб.	Суммарные затраты на организационную структуру, тыс. руб.
1 вариант	840	6000	6840
2 вариант	1680	4250	5930
3 вариант	1680	5250	6930
<b>4 вариант</b>	1680	4250	5930
5 вариант	2520	3500	6020
6 вариант	1680	5250	6930

Таблица 2 – Результаты определения оптимальной организационной структуры станции технического обслуживания при различном входящем потоке клиентов

Годовое количество автомобиле-заездов на СТО, ед.	Оптимальная организационная структура, вариант
3000	1
5000	1
7000	4
9000	4
11000	4

### *Результаты и обсуждение*

Таким образом, в рамках представленного примера по результатам расчетов в таблице 1 оптимальными являются структуры 2 и 4. Выберем в качестве итоговой структуру номер 4, в которой узлы 2 и 3, где непосредственно выполняются технические воздействия над автомобилями, контролируются одним менеджером II, а узел 1 контролируется менеджером I.

В рамках приведенных в таблице 2 расчетов было установлено, что для различного количества автомобиле-заездов на станцию оптимальными являются разные организационные структуры. Для малого количества клиентов (до 5000 включительно) наиболее эффективной будет являться структура управления с одним узлом контроля (менеджером), который будет управлять функциями всех производственных звеньев. При увеличении интенсивности поступления клиентов на СТО (до 11000 заездов в год) предпочтительной будет являться структура номер 4, где процессами управляют уже два менеджера, причем у каждого имеется своя специализация. Следовательно, для обеспечения эффективного управления тип организационной структуры конкретного предприятия автомобильного транспорта должен быть адаптирован под входящий поток клиентов и ряд других влияющих факторов.

Выше был приведен самый простой пример поиска оптимальной организационной структуры для графа из трех узлов-звеньев. При увеличении количества узлов число вариантов будет резко возрастать. С точки зрения комбинаторики - это очень большое количество вариантов, что существенно усложняет процесс их моделирования, особенно с использованием метода простого перебора всех существующих комбинаций вариантов (т.н. метод Brute Force) [6].

Помимо этого, для моделирования вариантов организационной структуры необходимо ввести несколько ограничений.

Во-первых, каждый узел технологического графа должен контролироваться одним или несколькими административными узлами, и только один контролирующий узел может не иметь начальника.

Во-вторых, при моделировании следует учитывать характер изменения стоимости работы узла от количества контролируемых им бизнес-функций. Модель такой зависимости необходимо определять для условий предприятий автомобильного транспорта различных типов.

### **Выходы**

В исследовании представлен подход к определению организационной структуры для предприятий по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей. В качестве критерия эффективности предложено использовать суммарные затраты на организационную структуру управления производством, которые включают в себя затраты на содержание административных работников и затраты, связанные с количеством контролируемых одним работником функций. Формирование организационной структуры предприятия предложено осуществлять от основного бизнес-процесса, связанного с обслуживанием и ремонтом автомобилей. От него формируется производственная структура предприятия, которая выражена в виде ориентированного технологического графа. Надстройкой технологического графа является иерархическая структура организации управления процессом, которая может быть реализована одним или несколькими административными узлами. Возможно несколько вариантов таких структур. Совокупность узлов управления, взаимосвязей между ними при минимальных затратах формирует оптимальную организационную структуру предприятия. В ходе исследований выявлено, что при увеличении интенсивности поступления клиентов на станцию технического обслуживания меняется и вид организационной структуры. Для станций с невысоким (до 5000) количеством клиентов в год наиболее эффективным является сосредоточение всех административных функций в руках одного менеджера. Для станций с более высокой загрузкой предпочтительной является организационная структура с двумя административными звенями и определенным распределением функций между ними. Таким образом установлено, что организационная структура предприятий автомобильного сервиса является динамической и может изменяться под воздействием внешних факторов, что в дальнейшем может послужить основой для установления моделей закономерностей для этих процессов.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Aizerman M.A. Theory of Automatic Control: Adiwes International Series. Elsevier, 2016.
2. Bartuševičienė I., Šakalytė E. Organizational assessment: effectiveness vs. efficiency // Social Transformations in Contemporary Society. 2013. Vol. 1. №1. P. 45-53.
3. Carter M., Price C.C., Rabadi G. Operations research: a practical introduction. Chapman and Hall/CRC, 2018.
4. Denisov M.V., Kamaev V.A., Kizim A.V. Organization of the repair and maintenance in road sector with ontologies and multi-agent systems // Procedia Technology. 2013. Vol. 9. P. 819-825.
5. Doroshin I., Kazaryan R. Organizational and technological solutions for managing the processes of building transport systems using economic and mathematical methods // Transportation Research Procedia. 2022. Vol. 63. P. 530-540.
6. Gambella C., Ghaddar B., Naoum-Sawaya J. Optimization problems for machine learning: A survey // European Journal of Operational Research. 2021. Vol. 290. №3. P. 807-828.
7. Gould R. Graph theory. Courier Corporation, 2012.
8. Grassa R., Bocanet A. Developing a sustainable operation management system for food charity organizations // Journal of Cleaner Production. Vol. 428. 2023. P. 139447.
9. Gurianova E., Mechtcheriakova S. Design of Organizational Structures of Management According to Strategy of Development of the Enterprises // Procedia Economics and Finance. Vol. 24. 2015. P. 395-401.
10. Harmer R., Oshurko E. Knowledge representation and update in hierarchies of graphs // Journal of Logical and Algebraic Methods in Programming. Vol. 114. 2020. P. 100559.
11. Kang Z., Zhao Y., Kim D. Investigation of enterprise economic management model based on fuzzy logic algorithm // Heliyon. Vol. 9. 2023. P. 19016.
12. Kim S.W. Organizational structures and the performance of supply chain management // International Journal of Production Economics. 2007. Vol. 106. №2. C. 323-345.

13. Kozin E.S. Digital Model of a Transport Enterprise: The Role of Intensity and Operating Conditions of Vehicles // Lecture Notes in Information Systems and Organisation. 2023. Vol. 61. P. 239-252.
14. Liao K., Liu H., Liu F. Digital transformation and enterprise inefficient investment: Under the view of financing constraints and earnings management // Journal of Digital Economy. Vol. 2. 2023. P. 289-302.
15. Malone T.W. et al. Tools for inventing organizations: Toward a handbook of organizational processes // Proceedings Second Workshop on Enabling Technologies-Infrastructure for Collaborative Enterprises. 1993. P. 72-82.
16. Nikulina O., Zilberova I., Novoselova I. Formation of organizational behavior within the management system of business structures of the transportation industry // Transportation Research Procedia. Vol. 63. 2022. P. 541-547.
17. Nyulasziova M., Palova D. Implementing a decision support system in the transport process management of a small Slovak transport company // Journal of Entrepreneurship, Management and Innovation. 2020. Vol. 16. №1. P. 75-106.
18. Olkiewicz M., Dyczkowska J., Chamier-Gliszcynski N., Królikowski T. Quality management in organizations within the framework of standardized management systems // Procedia Computer Science. Vol. 225. 2023. P. 4101-4109.
19. Peng J., Bao L. Construction of enterprise business management analysis framework based on big data technology // Heliyon. Vol. 9. 2023. P. 17144.
20. Tushman M.L., Smith W. Organizational technology // The Blackwell companion to organizations. 2017. P. 386-414.
21. Vaiciute K., Bureika G., Bazaras D. Estimation of technological development of transport enterprises // International Conference TRANSBALTICA: Transportation Science and Technology. Cham: Springer International Publishing. 2019. P. 589-598.
22. Van Der Aalst W. Process mining: Overview and opportunities // ACM Transactions on Management Information Systems (TMIS). 2012. Vol. 3. №2. P. 1-17.
23. Xuejun L., Shiyuan Z. Management mode and path of digital transformation of power grid enterprises based on artificial intelligence algorithm // International Journal of Thermofluids. Vol. 21. 2024. P. 100552.
24. Zakharov N.S., Makarova A.N. The Regularity Model of the Average Daily Mileage and Trip Length Influence on Actual Frequency of Car Engineering Servicing // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 272(3). 2019. P. 032040.
25. Zelenina A., Petrosov D., Pleshakova E. et.al. Modeling of management processes in distributed organizational systems // Procedia Computer Science. Vol. 213. 2022. P. 377-384.

**Козин Евгений Сергеевич**

Тюменский индустриальный университет

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

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

E-mail: kozines@tyuiu.ru

---

E.S. KOZIN

## **OPTIMIZATION OF ORGANIZATIONAL STRUCTURE OF AUTOMOBILE SERVICE ENTERPRISES**

*Abstract. An approach to determining the optimal organizational structure of automotive service enterprises is considered. The production structure of the enterprise is presented in the form of a technological graph, the superstructure over the nodes of which is an organizational structure. It is proposed to evaluate the effectiveness of the structure using the target function of the total costs for the maintenance and operation of administrative units. A calculation is given for choosing the optimal organizational structure for a car service station with different incoming customer flows.*

**Keywords:** organizational structure, automobile transport, simulation modeling, optimization

## **BIBLIOGRAPHY**

1. Aizerman M.A. Theory of Automatic Control: Adiwes International Series. Elsevier, 2016.
2. Bartuevien I., ?akalyt? E. Organizational assessment: effectiveness vs. efficiency // Social Transformations in Contemporary Society. 2013. Vol. 1. №1. P. 45-53.
3. Carter M., Price C.C., Rabadi G. Operations research: a practical introduction. Chapman and Hall/CRC, 2018.
4. Denisov M.V., Kamaev V.A., Kizim A.V. Organization of the repair and maintenance in road sector with

ontologies and multi-agent systems // Procedia Technology. 2013. Vol. 9. P. 819-825.

5. Doroshin I., Kazaryan R. Organizational and technological solutions for managing the processes of building transport systems using economic and mathematical methods // Transportation Research Procedia. 2022. Vol. 63. P. 530-540.

6. Gambella C., Ghaddar B., Naoum-Sawaya J. Optimization problems for machine learning: A survey // European Journal of Operational Research. 2021. Vol. 290. №3. P. 807-828.

7. Gould R. Graph theory. Courier Corporation, 2012.

8. Grassa R., Bocanet A. Developing a sustainable operation management system for food charity organizations // Journal of Cleaner Production. Vol. 428. 2023. P. 139447.

9. Gurianova E., Mechtkereliakova S. Design of Organizational Structures of Management According to Strategy of Development of the Enterprises // Procedia Economics and Finance. Vol. 24. 2015. P. 395-401.

10. Harmer R., Oshurko E. Knowledge representation and update in hierarchies of graphs // Journal of Logical and Algebraic Methods in Programming. Vol. 114. 2020. P. 100559.

11. Kang Z., Zhao Y., Kim D. Investigation of enterprise economic management model based on fuzzy logic algorithm // Heliyon. Vol. 9. 2023. P. 19016.

12. Kim S.W. Organizational structures and the performance of supply chain management // International Journal of Production Economics. 2007. Vol. 106. №2. S. 323-345.

13. Kozin E.S. Digital Model of a Transport Enterprise: The Role of Intensity and Operating Conditions of Vehicles // Lecture Notes in Information Systems and Organisation. 2023. Vol. 61. P. 239-252.

14. Liao K., Liu H., Liu F. Digital transformation and enterprise inefficient investment: Under the view of financing constraints and earnings management // Journal of Digital Economy. Vol. 2. 2023. P. 289-302.

15. Malone T.W. et al. Tools for inventing organizations: Toward a handbook of organizational processes // Proceedings Second Workshop on Enabling Technologies-Infrastructure for Collaborative Enterprises. 1993. P. 72-82.

16. Nikulina O., Zilberova I., Novoselova I. Formation of organizational behavior within the management system of business structures of the transportation industry // Transportation Research Procedia. Vol. 63. 2022. P. 541-547.

17. Nyulasziova M., Palova D. Implementing a decision support system in the transport process management of a small Slovak transport company // Journal of Entrepreneurship, Management and Innovation. 2020. Vol. 16. №1. P. 75-106.

18. Olkiewicz M., Dyczkowska J., Chamier-Gliszcynski N., Kr?likowski T. Quality management in organizations within the framework of standardized management systems // Procedia Computer Science. Vol. 225. 2023. P. 4101-4109.

19. Peng J., Bao L. Construction of enterprise business management analysis framework based on big data technology // Heliyon. Vol. 9. 2023. P. 17144.

20. Tushman M.L., Smith W. Organizational technology // The Blackwell companion to organizations. 2017. P. 386-414.

21. Vaisiute K., Bureika G., Bazaras D. Estimation of technological development of transport enterprises // International Conference TRANSBALTICA: Transportation Science and Technology. Cham: Springer International Publishing. 2019. P. 589-598.

22. Van Der Aalst W. Process mining: Overview and opportunities // ACM Transactions on Management Information Systems (TMIS). 2012. Vol. 3. №2. P. 1-17.

23. Xuejun L., Shiyuan Z. Management mode and path of digital transformation of power grid enterprises based on artificial intelligence algorithm // International Journal of Thermofluids. Vol. 21. 2024. P. 100552.

24. Zakharov N.S., Makarova A.N. The Regularity Model of the Average Daily Mileage and Trip Length Influence on Actual Frequency of Car Engineering Servicing // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 272(3). 2019. P. 032040.

25. Zelenina A., Petrosov D., Pleshakova E. et.al. Modeling of management processes in distributed organizational systems // Procedia Computer Science. Vol. 213. 2022. P. 377-384.

**Kozin Evgeniy Sergeevich**

Industrial University of Tyumen

Adress: 625000, Russia, Tyumen, st. Volodarsky, 38

Candidate of Technical Sciences

E-mail: kozines@tyuiu.ru

УДК 62-94

doi:10.33979/2073-7432-2025-1-3(88)-90-96

А.А. ЮНГ, А.Г. ШЕВЦОВА, В.В. ВАСИЛЬЕВА, А.А. ДОЛИНЕНКО

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АВАРИЙНОСТИ С УЧАСТИЕМ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ

**Аннотация.** На сегодняшний день одной из основных проблем передвижения средств индивидуальной мобильности (СИМ), является аварийность, увеличивающее число дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Такого рода происшествий в основном происходят по нескольким причинам, основной из которых является неприспособленность транспортной инфраструктуры для передвижения СИМ и движением совместно как с транспортными потоками, так и с пешеходными. В соответствии с последними изменениями в правилах дорожного движения (ПДД) СИМ рекомендовано передвигаться по инфраструктуре, предназначенной для движения велосипедистов. Активная застройка велосипедной инфраструктуры в городах должна способствовать снижению аварийности с участием СИМ. В рамках выполненного исследования осуществлена попытка проверка взаимосвязи двух рассматриваемых параметров – количества ДТП с участием СИМ и протяженности велосипедной инфраструктуры, на основании чего разработана математическая модель и определены перспективы дальнейшего исследования.

**Ключевые слова:** аварийность, оценка, мобильность, устройства, инфраструктура

### Введение

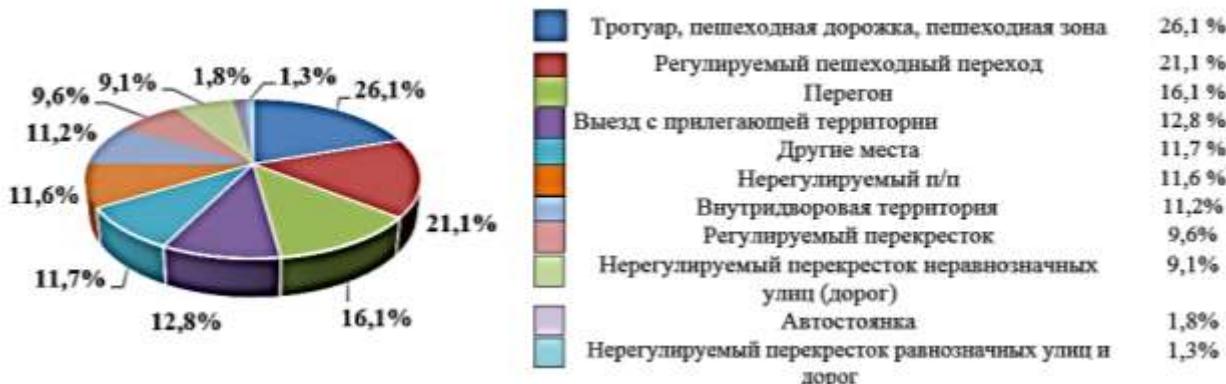
В нынешнем обществе вопросы мобильности населения и экономии времени актуальны во всех странах мира и требуют скорейшего решения. Строительный рост популярности средств индивидуальной мобильности, влечет за собой увеличение их количества на дорожном пространстве, что в свою очередь негативно сказывается на безопасности дорожного движения [1]. Под негативное влияние попадают не только пользователи данных устройств именуемые согласно ПДД как водители, но и другие участники дорожного движения – пешеходы, водители транспортных средств и пассажиры.

Следует отметить, что значительный рост числа ДТП с участием СИМ, наблюдаемый в последние годы связан в первую очередь с отсутствием специализированной инфраструктуры для движения, отсутствием знаний в области правил дорожного движения у водителей СИМ, что в совокупности в результате совместного использования инфраструктуры, предназначенной для движения пешеходов и передвижения автомобилей приводит к возникновению аварий. Согласно официальным данным предоставленным научно-исследовательским центром безопасности дорожного движения (НИЦ БДД) только в 2023 году с участием СИМ зарегистрировано 3100 дорожно-транспортных происшествий в нашей стране. По сравнению с аналогичным периодом прошлого года увеличение данного вида ДТП составило 229 % [2].

Несмотря на определенные мероприятия, которые принимаются в целом по стране и отдельно в регионах, например связанных с возрастным ограничением для пользователей СИМ, существует потребность в специализированной инфраструктуре, для обособленного движения данных устройств. На сегодняшний день в соответствии с законодательством возможно использовать для движения велосипедные дорожки. Следует отметить, что специфика проектирования велосипедной инфраструктуры в центральной части городов характерна для курортных городов и мегаполисов, в иных субъектах, в том числе и в Белгородской области и г. Белгороде велосипедная инфраструктура связывает населенные пункты входящие в состав городской агломерации.

В результате выполненного анализа мест возникновения происшествий с участием СИМ установлено что в основном они происходят на различных объектах улично-дорожной сети, а именно в местах пересечения проезжих частей, пешеходных переходах, тротуарах,

пешеходных дорожках, внутри дворовых территориях, регулируемых и нерегулируемых перекрестках, а также иных мест (рис. 1). Данные показатели указывают на то, что СИМ передвигаются по всем объектам дорожной и уличной инфраструктуры, несмотря на вступившие в силу поправки ПДД от 01.03.2023 г., которые должны были урегулировать их движение [3]. В связи с этим за последние четыре года наблюдается рост такого рода происшествий, характерный для всех без исключения субъектов Российской Федерации. Наравне с крупными мегаполисами и городами курортами, такими как Москва, Санкт-Петербург, Краснодар, Сочи и др., в других субъектах, в том числе и в Белгородской области довольно часто фиксируются ДТП с участием рассматриваемых средств передвижения.



*Рисунок 1 – Удельный вес ДТП с участием СИМ в зависимости от объекта УДС*

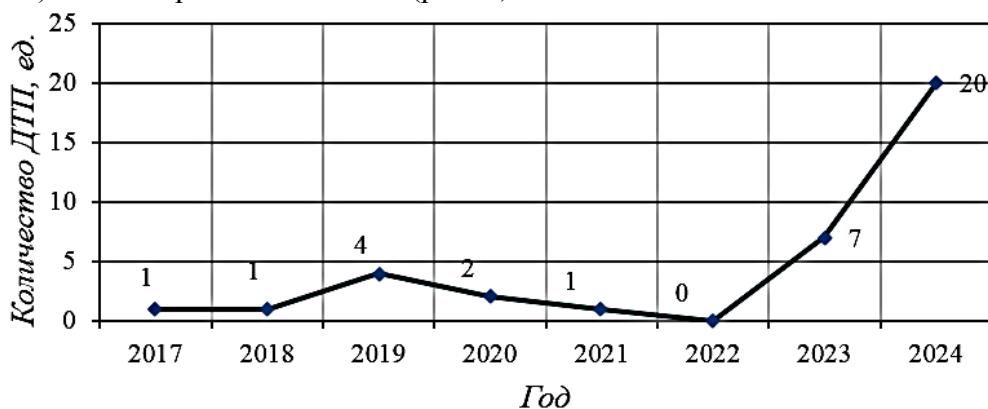
*Источник: статистик НИЦ БДД*

Для определения причины увеличения дорожно-транспортных происшествий с участием СИМ необходимо определить факторы негативного влияния на данный показатель [4].

#### *Материал и методы*

Для достижения данной цели необходимо оценить возможную зависимость количества дорожно-транспортных происшествий с участием СИМ от развития велосипедной инфраструктуры Белгородской области [5].

В результате выгрузки данных, содержащихся в карточке ДТП, было получено количество дорожно-транспортных происшествий с участием средств индивидуальной мобильности (СИМ) по Белгородской области (рис. 2).



*Рисунок 2 – Линейные графики изменения показателей ДТП и количества СИМ*

*по Белгородской области за 2017–2024 гг. Источник: статистик НИЦ БДД*

Необходимо проверить какие показатели влияют на увеличение ДТП с участием данных средств. Рассмотрим на примере Московского велопарка тенденцию его развития. В 2013 году в городе Москва начался прокат велосипедов с 1000 велосипедов и 100 станций велопроката, для их эксплуатации было организовано 147,3 км велодорожек. До 2017 года развитие велосипедной инфраструктуры целенаправленно велось лишь в городе Москва [6].

Рассмотрим развитие велосипедной инфраструктуры по Белгородской области и её влияние на повышение показателей аварийности средств индивидуальной мобильности (рис. 3).

С 2020 года в Белгородской области был создан проект «Велоинфраструктура», который направлен на создание комфортных условий для безопасного передвижения велосипедистов. Цель данного проекта – создать велотранспортную инфраструктуру общего пользования протяженность не менее 25 км на территории Белгородской агломерации [7].

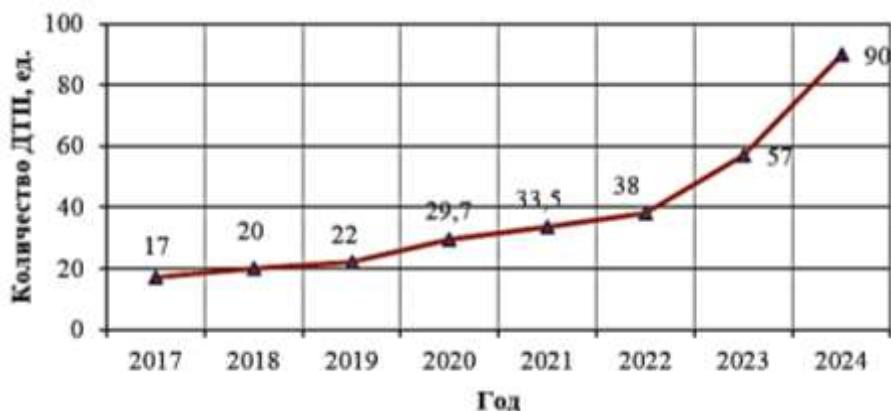


Рисунок 3 – Линейные графики изменения протяженности велосипедной инфраструктуры по Белгородской области за 2017-2024 гг. Источник: статистик НИЦ БДД

#### Теория / Расчет

Для выполнения прогноза количества дорожно-транспортных происшествий с участием СИМ необходимо построить уравнение парной регрессии  $y$  по  $x$  (1), а также рассчитать линейный коэффициент парной корреляции, коэффициент детерминации и среднюю ошибку аппроксимации. За значения  $x$  принимаем протяженность велосипедной инфраструктуры, а за  $y$  – число дорожно-транспортных происшествий с участием СИМ [8].

Для расчета параметров уравнения линейной регрессии необходимо построить расчетную таблицу (табл. 1).

Таблица 1 - Расчетная таблица параметров для выполнения прогнозирования количества ДТП с участием СИМ за период 2017-2024 гг.

№	$x$	$y$	$y \cdot x$	$x^2$	$y^2$	$\hat{y}_x$	$y - \hat{y}_x$	$(y - \hat{y}_x)^2$	$A_i$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	17	1	17	289	1	-2,52	3,52	12,39	352,00
2	20	1	20	400	1	-1,8	2,8	7,84	280,00
3	22	4	88	484	16	-1,32	5,32	28,30	133,00
4	29,7	2	59,4	882,09	4	0,528	1,472	2,17	73,60
5	33,5	1	33,5	1122,25	1	1,44	-0,44	0,19	44,00
6	38	0	0	1444	0	2,52	-2,52	6,35	-
7	57	7	399	3249	49	7,08	-0,08	0,01	1,14
8	90	20	1800	8100	400	15	5	25,00	25,00
Итого	307,2	36	2416,9	15970,34	472	20,928	11,552	82,25	818,46
Среднее значение	38,4	4,50	302,11	1996,29	59,00	2,616	1,444	1028125	
$\sigma$	22,84	269,78							
$\sigma^2$	521,73	72782,67							

По формулам находим параметры регрессии:

$$b = \frac{\bar{y} \cdot \bar{x} - \bar{y} \cdot \bar{x}}{\bar{x}^2 - \bar{x}^2} = \frac{302,11 - 4,5 \cdot 38,4}{1996,29 - 38,4^2} = \frac{129,31}{521,73} = 0,24;$$

$$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x} = 4,5 - 0,29 \cdot 38,4 = -6,6.$$

Так как коэффициент а в уравнении регрессии меньше нуля, существует необходимость данный показатель проверить с помощью t-критерия Стьюдента, а также вычислить Р-значение и определить значимость для двух наборов данных.

Уравнение регрессии имеет вид (1):

$$y = -6,6 + 0,24 \cdot x. \quad (1)$$

Тесноту линейной связи оценит коэффициент корреляции (2)

$$r_{xy} = b \cdot \frac{\sigma_x}{\sigma_y} = 0,24 \cdot \frac{22,84}{269,78} = 0,02. \quad (2)$$

В результате расчета установлено, что значение коэффициента корреляции меньше 0,7 это свидетельствует об отсутствие тесной линейной связи между признаками.

Коэффициент детерминации:

$$r_{xy}^2 = 0,0004.$$

Это означает, что 0,04 % вариации количества дорожно-транспортных происшествий с участием СИМ (у) объясняется вариацией фактора x – протяженности велосипедной инфраструктуры Белгородской области.

Качество модели определяет средняя ошибка аппроксимации (3):

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum A_i = \frac{818,46}{8} = 102,3. \quad (3)$$

Качество построенной модели оценивается как неудовлетворительное, так как  $\bar{A}$  превышает 10 %.

### **Результаты и обсуждение**

Согласно вступившим в силу поправкам ПДД 01.03.2023 г. средствам индивидуальной мобильности разрешено передвигаться по правому краю проезжей части дороги при одновременном соблюдение сразу нескольких факторов [10]:

1) нет возможности передвигаться по велосипедной и велопешеходной дорожке, полосе для велосипедистов, тротуару, пешеходной дорожке ввиду их загруженности или отсутствия;

2) на дороге разрешено движение транспортных средств со скоростью не более 60 км/ч, а также движение велосипедов;

3) СИМ оснащено тормозной системой, звуковым сигналом, световозвращателями белого цвета спереди, оранжевого или красного цвета с боковых сторон, красного цвета сзади, фарой (фонарем) белого цвета спереди [11].

Однако, разница в габаритах и скоростных характеристиках между автомобилями и СИМ, способствует созданию аварийных ситуаций. Именно поэтому существует потребность в дальнейших исследованиях для определения комфортной среды для передвижения средств индивидуальной мобильности [12].

### **Выход**

Из вышеперечисленных вычислений можно сделать вывод, что построенное уравнение регрессии является нерезультивным, что в случае рассматриваемых показателей аварийности для Белгородской области свидетельствует о том, что увеличение количества ДТП с участием СИМ и развитие велосипедной инфраструктуры субъекта, в основном за пределами городской территории являются не связанными величинами и не имеют прямых зависимостей [13]. Из этого можно сделать вывод, что СИМ передвигаются преимущественно по краю проезжей части, а не по специализированным велодорожкам. В дальнейшем, полученные результаты могут стать основной для оценки эффективности перекрестков [14], с целью установления основных мест передвижения СИМ – по выделенной полосе, в случае ее наличия или краю проезжей части для внедрения инновационных подходов к управлению транспортными потоками [15-17] с учетом новых средств передвижения и учета их в общем составе [18-20].

### **Благодарность**

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

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Мишина Ю.В. К вопросу об участии в дорожном движении пользователей средств индивидуальной мобильности // Правопорядок: история, теория, практика. 2020. №1/2. С. 24.
2. Ляхов П.В., Лопарев Е.А. Аварийность с участием средств индивидуальной мобильности, оснащенных электродвигателем // Безопасность дорожного движения. 2022. №1. С. 35-41.
3. Ляхов П.В., Купавцев В.А. Исследование дорожно-транспортных происшествий с участием средств индивидуальной мобильности // Современная наука. 2023. №4. С. 37-42.
4. Съедин О.Н., Юстратов Д.В. Проблемы повышения безопасности использования средств индивидуальной мобильности в городской среде // Научный вестник автомобильного транспорта. 2023. №1. С. 43-51.
5. Капский Д.В. Обобщенные подходы к решению задач формирования сети городского пассажирского транспорта // Вестник Белорусско-Российского университета. 2021. №4(73). С. 15-25. DOI 10.53078/20778481\_2021\_4\_15.
6. Сильянов В.В., Капитанов В.Т., Монина О.Ю. О совершенствовании сетевого управления транспортными потоками в интеллектуальных транспортных системах // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы 5-ой Международной научно-практической конференции. Орёл: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева. 2020. С. 108-113.
7. Бубнов К.В. Исследование факторов влияния на среду социальных коммуникаций в контексте средств индивидуальной мобильности (СИМ) в Крымском регионе // Методология безопасности среды жизнедеятельности: Сборник научных трудов XVII Международной научно-практической конференции. Симферополь: ИТ «Ариал». 2024. С. 65-67.
8. Илькевич С.В. Источники формирования конкурентных преимуществ сервисов проката электросамокатов // Стратегические решения и риск-менеджмент. 2019. №3. С. 239-250.
9. Купавцев В.А., Донченко В.В. Оценка рисков возникновения аварий с участием средств индивидуальной мобильности в зарубежных странах и Российской Федерации // Организация и безопасность дорожного движения: Материалы XIV Национальной научно-практической конференции с международным участием. Тюмень: Тюменский индустриальный университет. 2021. С. 32-35.
10. Сумин В.И., Рябинин В.В., Дыбова М.А., Колыхалин В.М., Ильницкий А.В. Методы определения целевой функции организационной системой // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. С. 1-4.
11. Мишина Ю.В. Проблемы определения административно-правового статуса лиц, использующих для передвижения электросамокаты, сегвеи и иные современные технические средства // Проблемы экономики и юридической практики. 2020. №4. С. 321-325.
12. Донченко В.В., Купавцев В.А. Анализ основных квалификационных систем средств индивидуальной мобильности // Вестник СибАДИ. 2021. №3. Т. 18. С. 252-263.
13. Петров К.А., Сидоров В.В. Вопросы, связанные с отнесением гироскутеров, сегвеев, моноциклов и электросамокатов к категории транспортных средств // Актуальные проблемы расследования преступлений: междисциплинарный подход: сборник трудов конференции. Калининград. 2019. С. 89-93.
14. Некрасова Е.Е., Шевцова А.Г. Основные критерии оценки эффективности функционирования перекрестков // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. №4-1(15-1). С. 363-366. DOI 10.12737/13967.
15. Шевцова А.Г., Бурлуцкая А.Г., Васильева В.В. Внедрение интеллектуальной транспортной системы Ramp Metering на примере г. Белгород // Мир транспорта и технологических машин. 2018. №4(63). С. 42-48.
16. Петров А.И., Евтиков С.А. Сравнительная энтропийная оценка состояния (2021) дорожно-транспортной аварийности в крупных городах России // Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Международной научно-технической конференции. В 2 томах. Т. II. Тюмень: Тюменский индустриальный университет. 2022. С. 118-121.
17. Евтиков С.А., Соловьев В.В. Модель системы многозадачной координации автоматизированных транспортно-технологических средств // Грузовик. 2023. №7. С. 36-39. DOI 10.36652/1684-1298-2023-7-36-39.
18. Шевцова А.Г. Оценка влияния параметров автомобилей на значение потока насыщения / А. Г. Шевцова // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2022. №1. С. 126-134. DOI 10.25198/2077-7175-2022-1-126.
19. Kushchenko L., Kushchenko S., Novikov A., Novikov I. The planning and conducting transport and transport-sociological surveys for the development of a local project of the belgorod urban agglomeration // Journal of Applied Engineering Science. 2021. Vol. 19. №3. P. 706-711. DOI 10.5937/jaes0-29032.
20. Kushchenko L.E., Kushchenko S.V., Novikov A.N., Koroleva L.A. The statistical assessment of the traffic

situation based on sample data of traffic accidents in the urban agglomeration // Journal of Applied Engineering Science. 2023. Vol. 21. №4. P. 1043-1051. DOI 10.5937/jaes0-42852.

**Юнг Анастасия Алексеевна**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

Аспирант

E-mail: yungnastena33@gmail.com

**Шевцова Анастасия Геннадьевна**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

Д.т.н., доц., профессор кафедры эксплуатации и организации движения автотранспорта

E-mail: anastasiya-shevcova@mail.ru

**Васильева Виктория Владимировна**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

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

К.т.н., доц., доцент кафедры сервис и ремонт машин

E-mail: vivaorel57@gmail.com

**Долиненко Анастасия Александровна**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

Аспирант

E-mail: adolinenko@yandex.ru

---

A.A. JUNG, A.G. SHEVTSOVA, V.V. VASILYEVA, A.A. DOLINENKO

## **DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL FOR PREDICTING ACCIDENTS INVOLVING PERSONAL MOBILITY EQUIPMENT**

*Abstract. Today, one of the main problems of the movement of personal mobility equipment (IMS) is the accident rate, which increases the number of road accidents. Such incidents mainly occur for several reasons, the main of which is the unsuitability of the transport infrastructure for movement and movement in conjunction with both traffic and pedestrian flows. In accordance with the latest changes in the rules of the road (SDA) SIM is recommended to move around the infrastructure designed for cyclists. Active development of bicycle infrastructure in cities should help reduce accidents involving SIM. As part of the study, an attempt was made to verify the relationship between the two parameters under consideration – the number of accidents involving SIM and the length of the bicycle infrastructure, on the basis of which a mathematical model was developed and prospects for further research were determined.*

*Keywords:* accident rate, assessment, mobility, devices, infrastructure

## **BIBLIOGRAPHY**

1. Mishina YU.V. K voprosu ob uchastii v dorozhnym dvizhenii pol`zovateley sredstv individual`noy mobil`nosti // Pravoporyadok: istoriya, teoriya, praktika. 2020. №1/2. C. 24.
2. Lyakhov P.V., Loparev E.A. Avariynost` s uchastiem sredstv individual`noy mobil`nosti, osnashchennykh elektrodvigatelem // Bezopasnost` dorozhnogo dvizheniya. 2022. №1. S. 35-41.
3. Lyakhov P.V., Kupavtsev V.A. Issledovanie dorozhno-transportnykh proisshestviy s uchastiem sredstv individual`noy mobil`nosti // Sovremennaya nauka. 2023. №4. S. 37-42.
4. S"edin O.N., YUstratov D.V. Problemy povysheniya bezopasnosti ispol`zovaniya sredstv individual`noy mobil`nosti v gorodskoy srede // Nauchnyy vestnik avtomobil`nogo transporta. 2023. №1. S. 43-51.
5. Kapskiy D.V. Obobshchennye podkhody k resheniyu zadach formirovaniya seti gorodskogo passazhirskogo transporta // Vestnik Belorussko-Rossiyskogo universiteta. 2021. №4(73). S. 15-25. DOI 10.53078/20778481\_2021\_4\_15.
6. Sil`yanov V.V., Kapitanov V.T., Monina O.YU. O sovershenstvovanii setevogo upravleniya transportnymi potokami v intellektual`nykh transportnykh sistemakh // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: Materialy 5-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Oriol: Orlovskiy gosudarstvennyy universitet im. I.S. Turgeneva. 2020. S. 108-113.

7. Bubnov K.V. Issledovanie faktorov vliyaniya na sredu sotsial`nykh kommunikatsiy v kontekste sredstv individual`noy mobil`nosti (SIM) v Krymskom regione // Metodologiya bezopasnosti sredy zhiznedeyatel`nosti: Sbornik nauchnykh trudov HVII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Simferopol`: IT «Arial». 2024. S. 65-67.
8. Il`kevich S.V. Istochniki formirovaniya konkurentnykh preimushchestv servisov prokata elektrosamokatov // Strategicheskie resheniya i risk-menedzhment. 2019. №3. S. 239-250.
9. Kupavtsev V.A., Donchenko V.V. Otsenka riskov vozniknoveniya avariya s uchastiem sredstv individual`noy mobil`nosti v zarubezhnykh stranakh i Rossiyskoy Federatsii // Organizatsiya i bezopasnost` dorozhного dvizheniya: Materialy HIV Natsional`noy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Tyumen`: Tyumenskiy industrial`nyy universitet. 2021. S. 32-35.
10. Sumin V.I., Ryabinin V.V., Dybova M.A., Kolykhalin V.M., Il`nitskiy A.V. Metody opredeleniya tselevoy funktsii organizatsionnoy sistemym // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2011. S. 1-4.
11. Mishina YU.V. Problemy opredeleniya administrativno-pravovogo statusa lits, ispol`zuyushchikh dlya peredvizheniya elektrosamokaty, segvei i inye sovremennye tekhnicheskie sredstva // Problemy ekonomiki i yuridicheskoy praktiki. 2020. №4. S. 321-325.
12. Donchenko V.V., Kupavtsev V.A. Analiz osnovnykh kvalifikatsionnykh sistem sredstv individual`noy mobil`nosti // Vestnik SibADI. 2021. №3. T. 18. S. 252-263.
13. Petrov K.A., Sidorov V.V. Voprosy, svyazанные s otneseniem giroskuterov, sigveev, monotsiklov i elektrosamokatov k kategorii transportnykh sredstv // Aktual`nye problemy rassledovaniya prestupleniy: mezhdistsiplinarnyy podkhod: sbornik trudov konferentsii. Kaliningrad. 2019. S. 89-93.
14. Nekrasova E.E., Shevtsova A.G. Osnovnye kriterii otsenki effektivnosti funkcionirovaniya perekrestkov // Aktual`nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. 2015. T. 3. №4-1(15-1). S. 363-366. DOI 10.12737/13967.
15. Shevtsova A.G., Burlutskaya A.G., Vasil`eva V.V. Vnedrenie intellektual`noy transportnoy sistemy Ramp Metering na primere g. Belgorod // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2018. №4(63). S. 42-48.
16. Petrov A.I., Evtyukov S.A. Sravnitel`naya entropiynaya otsenka sostoyaniya (2021) dorozhno-transportnoy avariynosti v krupnykh gorodakh Rossii // Transportnye i transportno-teknologicheskie sistemy: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii. V 2 tomakh. T. II. Tyumen`: Tyumenskiy in-dustrial`nyy universitet. 2022. S. 118-121.
17. Evtyukov S.A., Solov`ev V.V. Model` sistemy mnogozadachnoy koordinatsii avtomatizirovannykh transportno-tehnologicheskikh sredstv // Gruzovik. 2023. №7. S. 36-39. DOI 10.36652/1684-1298-2023-7-36-39.
18. Shevtsova A.G. Otsenka vliyaniya parametrov avtomobiley na znachenie potoka nasyshcheniya / A. G. Shev-tsova // Intellekt. Innovatsii. Investitsii. 2022. №1. S. 126-134. DOI 10.25198/2077-7175-2022-1-126.
19. Kushchenko L., Kushchenko S., Novikov A., Novikov I. The planning and conducting transport and transport-sociological surveys for the development of a local project of the belgorod urban agglomeration // Journal of Applied Engineering Science. 2021. Vol. 19. №3. P. 706-711. DOI 10.5937/jaes0-29032.
20. Kushchenko L.E., Kushchenko S.V., Novikov A.N., Koroleva L.A. The statistical assessment of the traffic situation based on sample data of traffic accidents in the urban agglomeration // Journal of Applied Engineering Science. 2023. Vol. 21. №4. P. 1043-1051. DOI 10.5937/jaes0-42852.

**Young Anastasia Alekseevna**

Belgorod State Technological University  
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova St., 46  
Postgraduate student  
E-mail: yungnastena33@gmail.com

**Shevtsova Anastasia Gennad`evna**

Belgorod State Technological University  
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova St., 46  
Doctor of Technical Sciences  
E-mail: anastasiya-shevcova@mail.ru

**Vasilyeva Victoria Vladimirovna**

Oryol State University  
Address: 302026, Russia, Orel, Komsomolskaya St., 95  
Candidate of Technical Sciences  
E-mail: vivaorel57@gmail.com

**Dolinenko Anastasia Alexandrovna**

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

УДК.629.331

doi:10.33979/2073-7432-2025-1-3(88)-97-104

С.Н. ГЛАГОЛЕВ, И.А. НОВИКОВ, Д.А. ЛАЗАРЕВ, Д.П. СТРЕКАЛОВ

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТА СЦЕПЛЕНИЯ ШИН ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С ДОРОГОЙ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ ПРИ ЭКСПЕРТИЗЕ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ

**Аннотация.** Одним из основных процессов, относящихся к динамике автомобиля, является его торможение. Очень часто у экспертов отсутствует возможность провести ходовые испытания транспортного средства, участковавшего в дорожно-транспортном происшествии, для получения исходных данных для расчета динамических параметров механизма происшествия, в частности коэффициента сцепления, как одного из основных. В данной работе приведен теоретический подход решения данной задачи в лабораторных условиях с рассмотрением на примере.

**Ключевые слова:** дорожно-транспортное происшествие, транспортное средство, расследование, экспертиза, трение, коэффициент сцепления, колесо

### **Введение**

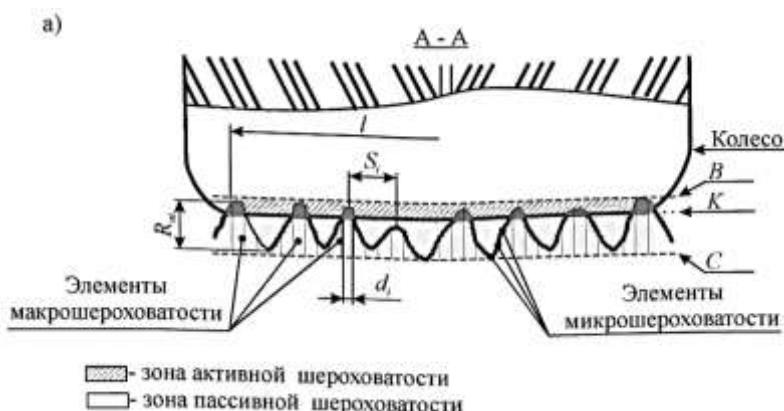
При движении транспортное средство контактирует с покрытием проезжей части только своими колесами, в частности ограниченной зоной соприкасающегося протектора. Физические характеристики двух контактных пар – покрытия и протектора – в целом определяют параметры остальных производных физических величин. В процессе трения при торможении происходит дискретный контакт двух трущихся плоскостей, каждая из которых неоднородна и имеет разные физические свойства. Так абразивная поверхность, например, асфальтобетонного покрытия имеет определенную твердость и дискретность выступающих микронеровностей, которые при контакте практически не изменяются, а каучуковая основа протектора – грунтозацеп – наоборот более эластичен и податлив для изгибов и разрушений. Однако, и он имеет пределы своей прочности, эластичности и сцепных качеств на пределе. Поэтому исследование поведения протекторной основы колеса в контексте определения его сцепных качеств видится наиболее перспективной задачей в рамках испытаний в лабораторных условиях [1, 2].

### **Материал и методы**

Как было указано выше, трение происходит между двумя элементами – поверхностью дороги и протектором колеса автомобиля. При этом номинальная площадь данной контактной пары соизмерима и может быть измерена нагружением колеса до номинальной массы и отображением протектора через красящую прослойку на лист бумаги. Дискретность опорной поверхности также может быть измерена и рассчитана согласно Приложению А ОДМ 218.3.054-2015 [3]. Шероховатость (элементы микро- и макрошероховатости) поверхности показана на рисунке 1.

На рисунке *K* – базовая плоскость поверхности колеса в зоне контакта с элементами макрошероховатости; *C* – плоскость наибольших впадин шероховатости в зоне контакта колеса; *B* – плоскость наибольших выступов шероховатости в зоне контакта колеса; *l* – базовая длина, мм; *D<sub>m</sub>* – размер отпечатка протектора колеса, мм; *S<sub>i</sub>* – шаг местных выступов макрошероховатости в пределах базовой длины, мм; *d<sub>i</sub>* – шаг контакта шины с поверхностью покрытия в пределах базовой длины, мм; *R<sub>ai</sub>* – частная глубина впадин макрошероховатости (расстояние между проекциями смежных вершин и впадин на вертикальную ось), мм.

Параметры шероховатости определяются по профилограмме, которая изготавливается игольчатым профилометром (рис. 2).



*Рисунок 1 – Элементы и параметры шероховатости в зоне контакта шины транспортного средства с поверхностью покрытия*



*Рисунок 2 – Пример игольчатого профилометра*

Альтернативой данного прибора является использование метрового измерительного объекта (дорожной линейки и штангенциркуль с выдвинутым щупом) с дискретностью измерения по базовой длине – 2,0 мм [3].

Также возможно использование технологий Lidar и сканер. В этом случае сканируемая поверхность очерчивается на рабочем поле компьютера и оцифровывается, после чего определяются параметры шероховатости. Работа над таким прибором в настоящее время ведется.

В общем виде измерение выглядят так: По вершинам выступов проводится линия, параллельно на 3,0 мм ниже проводится линия предполагаемого заглубления шин в поверхность. Отмечаются точки выступов и впадин профиля, определяются частные параметры шероховатости.

Средняя глубина впадин шероховатости определяется по формуле:

$$R_{acp} = \frac{\sum_{i=1}^{n_l} R_{ai}}{n_l}, \quad (1)$$

где  $R_{acp}$  – средняя глубина впадин шероховатости, мм;

$R_{ai}$  – частная глубина впадины шероховатости, мм;

$i$  – номер впадины;

$n_l$  – количество местных выступов шероховатости, шт.

Средний шаг местных выступов шероховатости поверхностных слоев (средний шаг шероховатости) определяется как среднее значение шага местных выступов в пределах базовой длины) по формуле:

$$S_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{n_l} S_i}{n_l}, \quad (2)$$

где  $S_{cp}$  – средний шаг местных выступов шероховатости, мм;

$S_i$  – шаг местных выступов шероховатости, мм.

Средний шаг контактов шины транспортного средства с поверхностью шероховатых поверхностных слоев определяется по формуле:

$$d_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{n_k} d_i}{n_k}, \quad (3)$$

где  $d_{cp}$  – средний шаг контактов шины транспортного средства с поверхностью покрытия, мм;

$d_i$  – шаг контакта шины транспортного средства с поверхностью покрытия, мм;

$n_k$  – количество контактов местных выступов шероховатости с шиной автомобиля, шт.

Относительная плотность контактов элементов шероховатости поверхностных слоев сшиной транспортного средства (плотность контактов) определяется по формуле:

$$N_k = \frac{d_{cp}}{S_{cp}}. \quad (4)$$

Материаловедческие свойства резины и каучуковых изделий определяются согласно ГОСТ ISO 1827 – 2019 [4].

### **Теория**

Описанные выше параметры пар взаимодействия устойчивы и их определение не должно вызывать практической сложности. Однако, сам протектор дискретен в плане состава материала, степени износа и сложности рисунка, который определяет водоотвод. Следует отметить, что при торможении протектор шины, совершая работу по подавлению перемещения (гася кинетическую энергию), подвержен двум ее составляющим. В первом случае при воздействии абразивной поверхности со стороны опорной поверхности менее прочный материал выступающих частей протектора шины истирается, выполняя тем самым механическую работу и расходуя на ее выполнение кинетическую энергию. При этом от подобного истирания остается след наслоения темного цвета на проезжей части – след торможения. Во втором случае данное истирание сопровождается тепловыделением, как и любое другое трение. В данном случае выделяется тепловая энергия, в которую также была преобразована кинетическая энергия автомобиля. В общем виде данный тезис можно записать в следующем виде: [5]

$$E_k = W_{mp} = W_{mex} + E_{men}, \quad (5)$$

где  $E_k$  – кинетическая энергия транспортного средства, Дж;

$W_{tp}$  – работа сил трения, Дж;

$m$  – коэффициент неожиданности;

$E_{men}$  – выделенное при трении тепловая энергия.

Тепловая энергия трения может быть замерена тепловыми датчиками (или тепловизором, например, модели FLIR E60) при проведении экспериментального трения по аналогичной абразивной поверхности. Данная задача не представляет сложности разрешениям в экспериментальной сфере (в отличие от теоретической), а поэтому на данном этапе рассматриваться не будет.

Наибольший интерес вызывает к теоретическому подходу механическое трение, которое помимо разрушительных процессов (истирание слоя протектора), имеет и деформационные процессы, а именно сдвиг при прямом торможении, сложную деформацию – сдвиг с кручением – при боковом скольжении и вращении. На данном этапе исследования будет рассмотрен первый наиболее простой случай.

При торможении основным контактирующим динамически изменяющимся элементом является протектор шины. Контактная часть протектора образует пятно контакта (рис. 3), которое зависит от внутреннего давления в колесе, веса автомобиля и эластичности боковин шины.

Размер пятна контакта влияет на интегральную количественную величину тангенциальных (касательных) усилий. С увеличением пятна контакта растет и количество данных усилий. Данный момент очень важен, поскольку в конечном итоге это влияет на силу трения, поскольку тангенциальные усилия прямо пропорциональны этой силе и обратно пропорциональны площади контакта: [5-7, 9]

$$\tau = \frac{F_{mp}}{A}. \quad (6)$$

где  $F_{tp}$  – сила трения колеса относительно поверхности дороги, Н;

$A$  – площадь соприкосновения колеса с дорогой,  $\text{мм}^2$ .

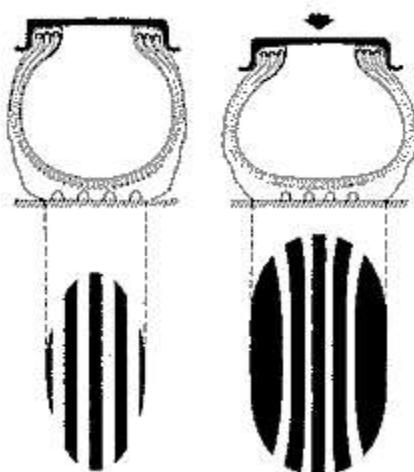


Рисунок 3 – Пятно контакта шины с дорогой без нагрузки и под нагрузкой

Однако, величина данного сдвига ограничена механическими свойствами материала изготовления грунтозацепа, т.е. сдвиг грунтозацепа имеет предельную форму, ограниченную геометрически и структурно. Абсолютный сдвиг  $\Delta h$  (рис. 5) зависит от силовых характеристик, высоты грунтозацепа и свойств материала изготовления. Относительный сдвиг  $\gamma$  представляет собой отношение величины абсолютного сдвига и высоты грунтозацепа  $h$ .

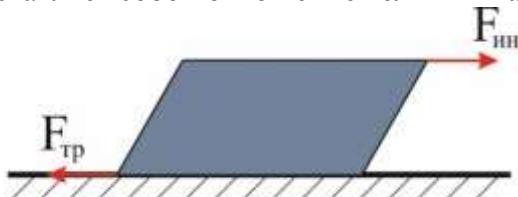


Рисунок 4 – Деформация (сдвиг) одного грунтозацепа протектора шины колеса транспортного средства при торможении

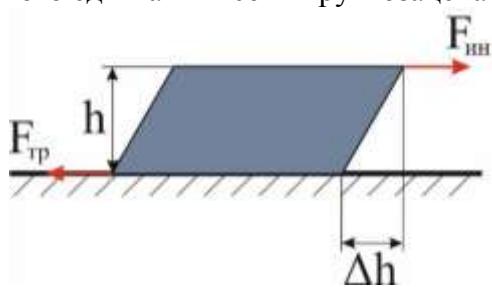


Рисунок 5 – Деформация (сдвиг) одного грунтозацепа протектора шины колеса транспортного средства при торможении

При этом касательные напряжения и относительный сдвиг связаны законом Гука, а именно

$$\tau = G \cdot \gamma , \quad (7)$$

где  $G$  – модуль сдвига, зависящий от свойств материала, Па;

$\gamma$  – относительный сдвиг.

Таким образом из данных рассуждений следует, что высота протектора шины напрямую влияет на предельную величину тангенциальных усилий и соответственно силу трения. Чем меньше высота протектора, тем меньший предел имеет данные усилия и сила трения, что отрицательно сказывается на возможностях колеса гасить кинетическую энергию.

Данное утверждение описывается формулой для одного грунтозацепа:

$$\tau = G \cdot \frac{\Delta h}{h} . \quad (8)$$

Как видно из формулы она отражает все возможные составляющие влияния на фрикционные свойства одного грунтозацепа протектора шины. Для определения силы трения всего пятна контакта необходимо понимать, что эпюра распределения касательных напряжений пропорциональна эпюре распределения удельных давлений [10, 11]:

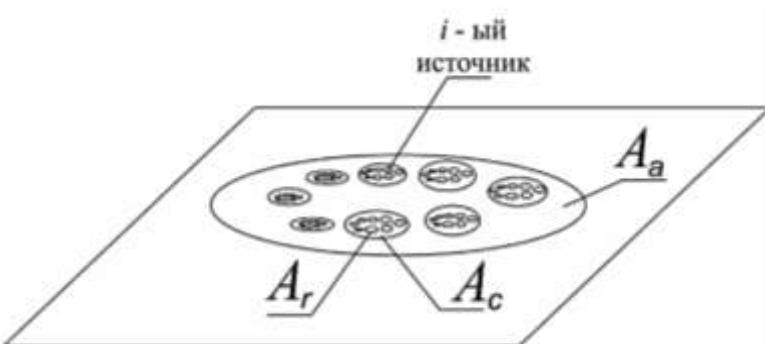
$$\tau = \varphi \cdot q_{cp.o} , \quad (9)$$

где  $\varphi$  – коэффициент сцепления;

$q_{cp.o}$  – действительное удельное среднее давление, Па.

При этом очень важно понимать, что контакт протектора шины с дорогой не однороден по причине различных внешних условий, а следовательно его можно описать как дис-

крайний. Пример дискретности контакта протектора шины с дорогой показан схематично на рисунке 6.



*Рисунок 6 – Схематичный рисунок дискретности контакта двух объектов*

Здесь следует считать  $A_a$  – номинальной площадью трения;  $A_c$  – суммой контурных площадок контактирования;  $A_r$  – суммой  $i$ -того количества площадей контакта [10, 11].

С учетом всего описанного выше можно констатировать, что тормозная сила колеса автомобиля как функция будет иметь интегральную зависимость от тангенциальных усилий и соответственно от характеристик протектора [5, 14]:

$$F_{mp} = \int_{A_{ri}} \tau dA_{ri} \Rightarrow \int_{A_{ri}} G \cdot \frac{\Delta h}{h} dA_{ri}. \quad (10)$$

При этом максимальные тангенциальные усилия, а следовательно, и эффективное торможение будут получены на пределе сдвига, когда  $\tau \Rightarrow \max$ . Исходя из этого утверждения возможно определить максимальный коэффициент сцепления, зная геометрические и структурные характеристики протектора шины колеса, что можно получить путем не сложных экспериментальных замеров в лабораторных условиях.

#### *Результаты и обсуждения*

Испытания проводились на отдельном колесе летнего типа Toyo DRB 205/55R16. На первом этапе была определена удельная площадь пятна контакта, которая характеризует количество грунтозацепов на единицу площади (рис. 7).

Удельная площадь пятна контакта составила  $103,15 \text{ см}^2$  или  $10315 \text{ мм}^2$ . Пятно контакта содержит 36 элементарных площадей разных размеров, которые варьируются от  $40 \text{ мм}^2$  до  $810 \text{ мм}^2$ . Данные площади были сведены в таблицу 1. [12, 16]



*Рисунок 7 – Определение удельной площади пятна контакта протектора шины с дорогой*

Таблица 1 - Количество элементарных площадей грунтозацепов и их значения в пятне контакта протектора шины колеса.

	Количество элементарных площадей одного размера, шт							
	4	2	2	4	12	5	2	3
Площадь, $\text{мм}^2$	810	624	480	290	260	75	46	40

После этого были измерены глубины протектора шины на различных участках протектора, образующего пятно контакта, вследствие чего были получены значения от 5,9 до 6,21 мм. Также были распределены по группам грунтозацепов и сведены в таблицу 2.

Таблица 2 - Значения высоты протектора относительно групп грунтозацепов.

	Площадь, $\text{мм}^2$							
	810	624	480	290	260	75	46	40
Высота протектора, $\text{мм}$	6,21	6,21	6,0	6,0	6,15	5,9	5,9	5,9

Далее были проведены испытания материала резины на сдвиг с использованием специального пресса (см. рисунок 9).



*Рисунок 8 – Определение высоты протектора шины колеса*



*Рисунок 9 – Определение параметров материала изготовления грунтозацепа колеса*

Критический линейный размер сдвига грунтозацепа, после которого наступает разрыв материала, составил при величине высоты грунтозацепа 5,9 мм составил 1,1 мм, при 6,21 – 1,12 мм. Модуль сдвига составил 1,2 МПа или 1,2 Н/мм<sup>2</sup>.

Исходя из полученных значений был проведен расчет и получено значение силы трения:

$$F_{mp} = 1,2 \cdot \left( \frac{1,12}{6,21} \cdot 4 \cdot 810 + \frac{1,12}{6,21} \cdot 2 \cdot 624 + \frac{1,11}{6,0} \cdot 2 \cdot 480 + \frac{1,11}{6,0} \cdot 4 \cdot 290 + \dots \right. \\ \left. \dots + \frac{1,11}{6,15} \cdot 12 \cdot 260 + \frac{1,1}{5,9} \cdot (5 \cdot 75 + 2 \cdot 46 + 3 \cdot 40) \right) = 2248,92 \text{ Н.}$$

После чего был определен коэффициент сцепления для искомой поверхности и шины колеса:

$$\varphi = \frac{F_{mp}}{m \cdot g} = \frac{2248,92}{286 \cdot 9,81} = 0,8,$$

где  $m$  – масса автомобиля, приходящаяся на испытуемое колесо, кг;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Использование предложенного решения позволяет в лабораторных условиях определять коэффициент сцепления в случаях, когда провести ходовые испытания транспортных средств не представляется возможным. В дальнейшем возможности способа будут расширены дополнительными составляющими расчета.

### **Выводы**

Был предложен способ получения коэффициента сцепления шин колес транспортного средства с дорогой в лабораторных условиях без выезда на место дорожно-транспортного происшествия и проведения ходовых испытаний, который позволяет учесть ряд особенностей контактных поверхностей, таких как опорная поверхность и протектор шины колеса.

На примере реальных испытаний способ показал свою состоятельность, что позволит продолжить исследования в этом направлении с дополнением модулей и возможностей расчета.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Евтюков С.А., Пучкин В.А. Судебная автотехническая экспертиза дорожно-транспортных происшествий // ИД «Петрополис». Санкт-Петербург. 2017. 416 с.
2. Домке Э.Р. Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий. М.: Издательский центр «Академия», 2009. 288 с.
3. ОДМ 218.3.054-2015. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Устройство поверх-

ностной обработки и тонких слоев износа с применением различных видов фиброволокон: Отраслевой дорожный методический документ. Москва: Стандартинформ, 2015. 65 с.

4. ГОСТ ISO 1827 – 2019. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Резина и термозластопласти. Определение модуля сдвига и прочности сцепления с жесткими пластинами. Методы сдвига четырехэлементного образца: Межгосударственный стандарт Российской Федерации. Москва: Стандартинформ, 2019. 8 с.

5. Джеллетт Джон Х. Трактат по теории трения. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2009. 264 с.

6. Чичинадзе А.В. Трение, износ, смазка. Трибология и триботехника. М.: Машиностроение, 2004. 576 с.

7. Крагельский И.В., Щедров В.С. Анализ сухого трения скольжения, 1948. Т. XVIII. Вып. 6.

8. Вонг Дж. Теория наземных транспортных средств. М.: Машиностроение, 1982. С. 19-56.

9. Чичинадзе А.В., Берлинер Э.М., Браун Э.Д. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника). М.: Машиностроение, 2003.

10. О взаимодействии колеса с опорной поверхностью: Сборник статей лаборатории шин / под ред. В. Р. Ворона. Вып. 9 М.: Типография НАМИ, 1959. 68 с.

11. Основы трибологии (трение, износ, смазка): Учебник для технических вузов. 2-е изд. / А.В. Чичинадзе, Э.Д. Браун, Н.А. Буше и др. М.: Машиностроение, 2001. 664 с.

12. Лазарев Д.А. Повышение эффективности проведения автотехнической экспертизы на основе теоретического подхода при изучении процесса торможения // Мир транспорта и технологических машин. 2017. №4(55). С. 82-90.

13. Евтуков С.А. Влияние факторов на сцепные качества покрытий автомобильных дорог // Современные проблемы науки и образования. 2012. №3. С. 97.

14. Кабардин О.Ф. Физика: Справочные материалы: Учебное пособие для учащихся. М.: Просвещение, 1991. 367 с.

15. Домке Э.Р. Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий. М.: Издательский центр «Академия», 2009. 288 с.

16. Novikov I.A., Lazarev D.A. Experimental Installation for Calculation of Road Adhesion Coefficient of Locked Car Wheel // Transportation Research Procedia. 2017. V. 20. P. 463-467.

17. Евтуков С.С., Ворожейкин И.В. К вопросу определения расстояния до объекта по фотографическим снимкам при реконструкции ДТП // Мир транспорта и технологических машин. 2020. №2. С. 63-68.

18. Евтуков С.А., Голов Е.В. Реконструкция дорожно-транспортных происшествий. СПб.: Издательский дом «Петрополис», 2017. 204 с.

19. 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. Vol. 21(2015). P. 42721-42724.

20. Лазарев Д.А., Гринякин Р.В., Стрекалов Д.П., Шаталов Е.В. Применение цифровых алгоритмов при оптимизации процесса расследования дорожно-транспортных происшествий // Воронежский научно-технический вестник. №4(46). 2023. DOI: 10.34220/2311-8873-2023-107-119

**Глаголев Сергей Николаевич**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

Д.э.н., профессор, ректор

E-mail: rector@bstu.ru

**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

**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

**Стрекалов Дмитрий Павлович**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

Аспирант

E-mail: Strekalovdp@yandex.ru

---

S.N. GLAGOLEV, I.A. NOVIKOV, D.A. LAZAREV, D.P. STREKALOV

## THEORETICAL APPROACH TO DETERMINING THE ADHESION COEFFICIENT OF VEHICLE TIRES TO THE ROAD IN LABORATORY CONDITIONS DURING THE EXPERTISE OF ROAD ACCIDENTS

*Abstract. One of the main processes related to the dynamics of the car is its braking. Very often, experts do not have the opportunity to conduct sea trials of a vehicle involved in a road accident in order to obtain initial data for calculating the dynamic parameters of the accident mechanism, in particular the adhesion coefficient, as one of the main ones. This paper presents a theoretical approach to solving this problem in laboratory conditions with an example.*

**Keywords:** traffic accident, vehicle, investigation, expertise, friction, coefficient of adhesion, wheel

### BIBLIOGRAPHY

1. Evtyukov S.A., Puchkin V.A. Sudebnaya avtotehnicheskaya ekspertiza dorozhno-transportnykh proisshestviy // ID «Petropolis». Sankt-Peterburg. 2017. 416 s.
2. Domke E.R. Rassledovanie i ekspertiza dorozhno-transportnykh proisshestviy. M.: Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2009. 288 s.
3. ODM 218.3.054-2015. Bibliograficheskaya zapis'. Bibliograficheskoe opisanie. Ustroystvo poverkhnostnoy obrabotki i tonkikh sloev iznosa s primeneniem razlichnykh vidov fibrovolokon: Otraslevoy dorozhnyy metodicheskiy dokument. Moskva: Standartinform, 2015. 65 s.
4. GOST ISO 1827 - 2019. Bibliograficheskaya zapis'. Bibliograficheskoe opisanie. Rezina i termoplasty. Opredelenie modulya sdviga i prochnosti stsepleniya s zheskimi plastinami. Metody sdviga chetyrekhelementnogo obraztsa: Mezhgosudarstvennyy standart Rossiiyskoy Federatsii. Moskva: Standartinform, 2019. 8 s.
5. Dzhellett Dzhon H. Traktat po teorii treniya. Izhevsk: NITS «Regulyarnaya i khaoticheskaya dinamika», 2009. 264 s.
6. Chichinadze A.V. Trenie, iznos, smazka. Tribologiya i tribotekhnika. M.: Mashinostroenie, 2004. 576 s.
7. Kragel'skiy I.V., Shchedrov V.S. Analiz sukhogo treniya skol'zheniya, 1948. T. XVIII. Vyp. 6.
8. Vong Dzh. Teoriya nazemnykh transportnykh sredstv. M.: Mashinostroenie, 1982. S. 19-56.
9. Chichinadze A.V., Berliner E.M., Braun E.D. Trenie, iznos i smazka (tribologiya i tribotekhnika). M.: Mashinostroenie, 2003.
10. O vzaimodeystvii kolesa s opornoj poverkhnost'yu: Sbornik statey laboratorii shin / pod red. V. R. Vorona. Vyp. 9 M.: Tipografiya NAMI, 1959. 68 s.
11. Osnovy tribologii (trenie, iznos, smazka): Uchebnik dlya tekhnicheskikh vuzov. 2-e izd. / A.V. Chichinadze, E.D. Braun, N.A. Bushe i dr. M.: Mashinostroenie, 2001. 664 s.
12. Lazarev D.A. Povyshenie effektivnosti provedeniya avtotehnicheskoy ekspertizы na osnove teorecheskogo podkhoda pri izuchenii protsessa tormozheniya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2017. №4(55). S. 82-90.
13. Evtyukov S.A. Vliyanie faktorov na stsepnye kachestva pokrytiy avtomobil'nykh dorog // Sovremen-nye problemy nauki i obrazovaniya. 2012. №3. S. 97.
14. Kabardin O.F. Fizika: Spravochnye materialy: Uchebnoe posobie dlya uchashchikhsya. M.: Prosveshchenie, 1991. 367 s.
15. Domke E.R. Rassledovanie i ekspertiza dorozhno-transportnykh proisshestviy. M.: Izdatel'skiy tsentr "Akademiya", 2009. 288 s.
16. Novikov I.A., Lazarev D.A. Experimental Installation for Calculation of Road Adhesion Coefficient of Locked Car Wheel // Transportation Research Procedia. 2017. V. 20. P. 463-467.
17. Evtyukov S.S., Vorozheykin I.V. K voprosu opredeleniya rasstoyaniya do ob"ekta po fotograficheskim snimkam pri rekonstruktsii DTP // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2020. №2. S. 63-68.
18. Evtyukov S.A., Golov E.V. Rekonstruktsiya dorozhno-transportnykh proisshestviy. SPb.: Izdatel'skiy dom "Petropolis", 2017. 204 s.
19. 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. Vol. 21(2015). R. 42721-42724.
20. Lazarev D.A., Grinyakin R.V., Strekalov D.P., Shatalov E.V. Primenenie tsifrovых algoritmov pri optimizatsii protsessa rassledovaniya dorozhno-transportnykh proisshestviy // Voronezhskiy nauchno-tehnicheskiy vestnik. №4(46). 2023. DOI: 10.34220/2311-8873-2023-107-119

**Glagolev Sergey Nikolaevich**  
Belgorod state technological university (BSTU)  
Address: 308012, Russia, Belgorod, st. Kostyukova, 46  
Doctor of Economics Sciences  
E-mail: rector@bstu.ru

**Novikov Ivan Alekseevich**  
Belgorod state technological university (BSTU)  
Address: 308012, Russia, Belgorod, st. Kostyukova, 46  
Doctor of Technical Sciences  
E-mail: ooows@mail.ru

**Lazarev Dmitry Alexandrovich**  
Belgorod state technological university (BSTU)  
Address: 308012, Russia, Belgorod, st. Kostyukova, 46  
Candidate of Technical Sciences  
E-mail: avtotech31@mail.ru

**Strekalov Dmitry Pavlovich**  
Belgorod state technological university (BSTU)  
Address: 308012, Russia, Belgorod, st. Kostyukova, 46  
Graduate student  
E-mail: Strekalovdp@yandex.ru

УДК 621.822

doi:10.33979/2073-7432-2025-1-3(88)-105-109

А.В. ГОРИН, И.В. РОДИЧЕВА, А.Д. СЕРЕБРЕННИКОВ, О.А. АКИМОЧКИНА

## УПРАВЛЕНИЕ ВИБРОЗАЩИТНЫМИ СИСТЕМАМИ АВТОМОБИЛЯ НА ОСНОВЕ ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследований системы управления виброзащитными механизмами автомобиля на основе обучения с подкреплением в условиях неопределенности. Рассмотрена проблема возникновения неопределенностей при использовании обученной системы управления в новой среде. Показано, в качестве решения проблемы предлагается заранее учитывать возможные из них и вводить определенные функции, позволяющие системе сохранять работоспособность. Представлено решение задачи управления перевернутым маятником. Задача решалась на базе Matlab и её программной части Simulink.

**Ключевые слова:** перевернутый маятник, обучение, неопределенность, калибровка

### **Введение**

При использовании обученных систем управления виброзащитными механизмами автомобиля на практике, новая среда может оказаться достаточно отличной от исследуемой во время обучения. Это может привести к её неработоспособности. С некоторыми из возможных неопределенностей можно бороться заранее. Например, проблема неправильного закрепления датчиков и настроек их показаний может быть решена введением дополнительных функций.

При долгосрочном прогнозировании [1-3], для лучшего соответствия данных проверки с данными обучения и предотвращения их расхождения они нормализуются так, чтобы иметь нулевое среднее значение и единичную дисперсию.

При обучении по видео изображениям производится их обработка [4-7]. Предлагается удалять лишние фрагменты, которые могут влиять на обучение негативно. Например, если мы хотим обучить робота чистить картошку, то нам необходимо удалять посторонние действия, такие как вытираение пота со лба или чесание локтя. В результате можно выделить чистые модели для обучения.

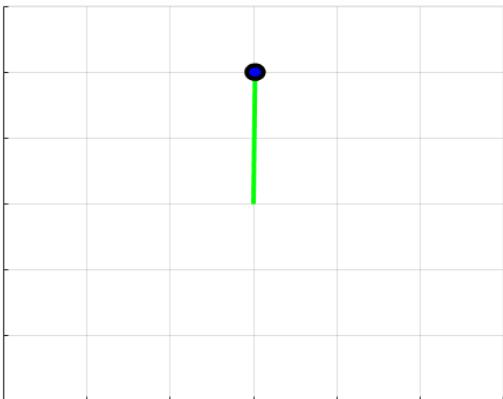
### **Материал и методы**

Функции получения вознаграждений могут представлять из себя максимизаторы переменных [8-12]. Например, для случаев, когда необходимо минимизировать: время выполнения задачи, путь, затраченную энергию. Также вознаграждение может быть связано с минимизацией разницы между одной переменной и другой. Например, если нужно переместить объект из одной точки в другую, то мы можем регулировать вознаграждение в зависимости от разницы в требуемых координатах и реальных перемещаемого объекта. Данная функция может быть определена с ошибкой, из-за чего программа не будет достигать оптимального результата, также она может найти ложное решение, получая большое количество вознаграждений за неправильные действия. Это позволяет получать решения определенных задач, суть которых заключается в создании набора правил, позволяющих исключать плохие решения [13-15].

Анализ показывает, что при обучении модели необходимо заранее предполагать неопределенности будущей среды (наличие шума, других размерностей исследуемых сигналов, возможностей ложных срабатываний вознаграждения и т.д.). Таким образом попробуем применить методы анализа изображений и прогноза состояний для решения задачи управления со средой содержащей неопределенности.

### **Теория**

Для исследований принимает маятник. Маятник является наиболее наглядным объектом. Первоначально маятник висит без трения в нижнем положении. Целью обучения укажем поднятие и удержание стержня за счет прикладывания к нему минимального управляющего сигнала. Требуемое положение маятника показано на рисунке 1.



*Рисунок 1 – Стержень маятника занят верхнее положение*

этой проблемой возможно бороться заранее, для этого еще на этапе обучения входные сигналы возможно изменять так, чтобы они имели нулевое среднее значение и единичную дисперсию, а стрелка маятника в опущенном состоянии при различных неопределенностях имела одинаковое значение.

По такому же принципу можно предположить, что после обучения в новой среде сигнал будет иметь некоторый шум, поэтому его добавим в обучающуюся модель и новую среду с целью того, чтобы новая среда не имела существенных отличий и обученная модель работала также, будто модель осталась старой.

Среда обучения нами будет изменена, чтобы исследовать как обученная сеть справится с возникшей неопределенностью. Для этого сместим показания наших сигналов, изменим размерности и добавим к ним шум.

Как при обучении, так и при работе с новой средой на обученной сети применим следующие формулы, изменяющие входящие значения:

$$\mu_u = \frac{u_1 + u_2 + \dots + u_n}{n}, \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (u_i - \mu_u)^2}{n-1}}, \quad (2)$$

$$u_i = \frac{u_i - \mu_u}{\sigma}, \quad (3)$$

где  $\mu_u$  - среднее значение сигнала;

$n$  – число сигналов;

$u$  – измеряемый сигнал;

$\sigma$  – среднеквадратическое отклонение;

$i$  – номер сигнала.

Для исследований возьмем математическую модель и систему обучения с сайта MathWorks [16-19]. На рисунке 2 отображена измененная версия программы, позволяющая бороться с возможными неопределенностями в системе (смещения показаний датчиков, другие размерности, появление шумов).

### *Результаты и обсуждение*

В результате исследований выявилось, что система, обученная на чистой среде, в дальнейшем лучше справляется и с зашумленной чем система, изначально обученная в зашумленной среде. Стержень быстрее приводился в требуемое положение, а процесс обучения осуществлялся за меньшее количество эпизодов.

Введение указанных функций (1-3) позволило улучшить работу программы, она справлялась с задачей при изменениях и смещениях показателей, которые и в реальности могли обнаруживаться на измерительных приборах, описывающих состояние среды. На рисунке 3 отображена зависимость угла наклона стержня от времени.

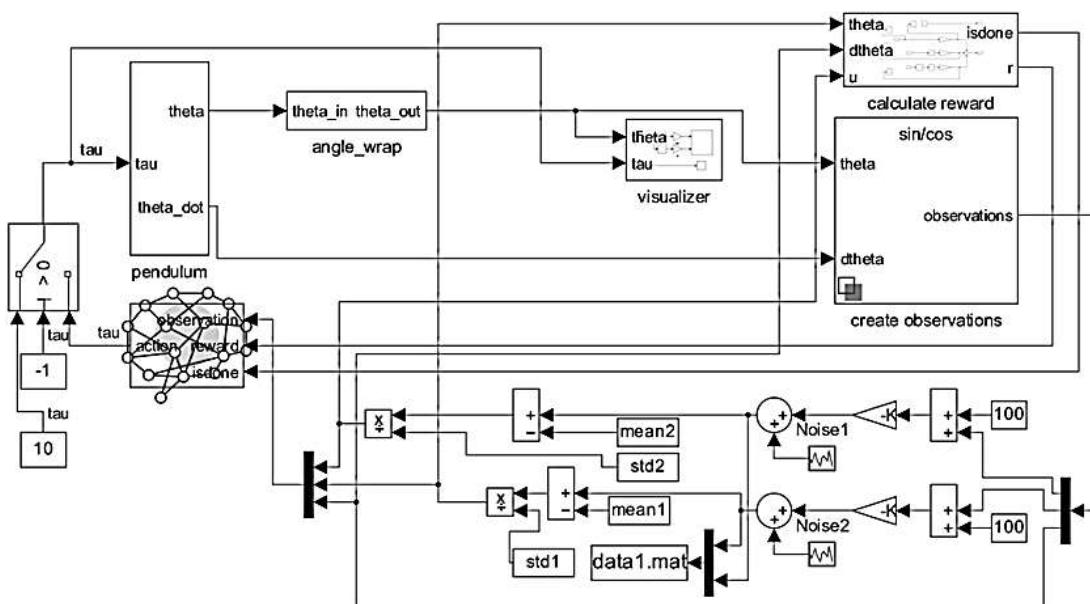


Рисунок 2 - Модифицированная модель программы в Simulink, взятая с сайта MathWorks

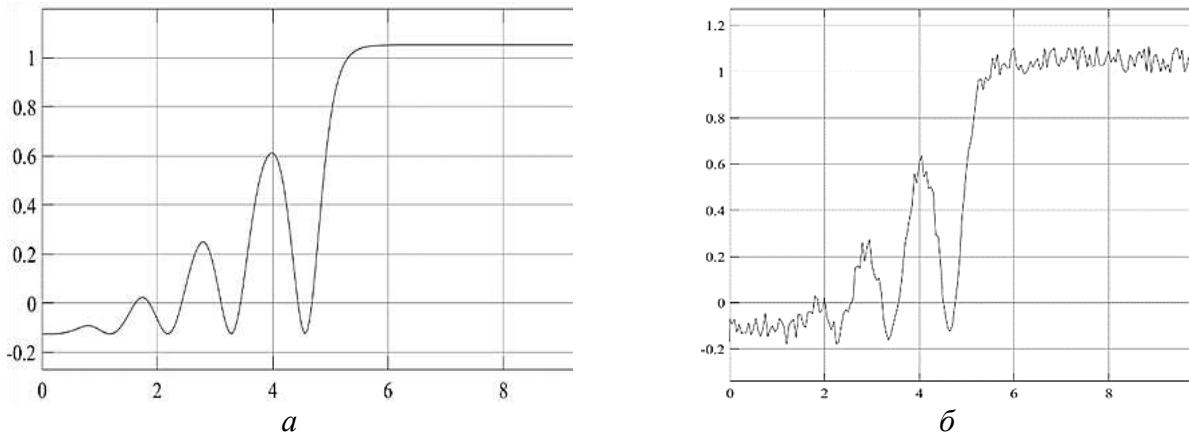


Рисунок 3 - Зависимость угла наклона стержня от времени: а - без шума, б - с шумом

При различных искажениях показателей за счет введенных функций графики оказывались идентичными. Прямая линия на графике показывает момент занятия и удержания верхнего положения стержнем маятника. По рисунку 3 также можно судить о работоспособности системы, обученной на чистой среде при возникновении шумов.

С разработанной программой можно ознакомиться по ссылке [20].

### Выводы

Применение описанных функций на практике может помочь избежать проблем с некоторыми из возможных неопределенностей, таких как неправильная установка датчиков (или отличная от той, что была при обучении).

Предлагаемая программа окажется полезной для тех, кто захочет провести исследования с маятником и системой обучения самостоятельно. От оригинальной, скачанной с сайта MathWorks, отличается и тем, что её текстовая часть кода переписана так, чтобы модель Simulink было возможно редактировать (в оригинале она привязана к определенному файлу в папке программы и не позволяет использовать собственные модификации).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zhang Wenyu, Wang Jujie, Wang Jianzhou, Zhao Zengbao, Tian Meng. Short-term wind speed forecasting based on a hybrid model // Applied Soft Computing. 2013. №13. P. 3225-3233.
2. Passalis Nikolaos, Tefas Anastasios, Kannainen Juho, Gabbouj Moncef, Iosifidis Alexandros. Deep Adaptive Input Normalization for Time Series Forecasting // IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. 2019. P. 1-6.
3. Хвостиков А.С. Вибрационный анализ роторной системы турбокомпрессоров // Современные научно-технические технологии. 2020. №6-2. С. 293-298.

4. Калашников В.С., Кузина Е.А., Яшин Д.С. Анализ причин возникновения вибрации в изделиях авиационной техники // Надежность и качество: Труды международного симпозиума». 2016. Т. 1. С. 165-167.
5. Angluin Dana, Laird Philip. Learning From Noisy Examples // Machine Learning. №2. 1988. P. 343-370.
6. Zhang Xuezhou, Chen Yiding, Zhu Jerry, Sun Wen. Corruption-Robust Offline Reinforcement Learning. 2021.
7. Zheng Ray, Hu Kaizhe, Yuan, Zhecheng, Chen Boyuan, Xu Huazhe. Extraneousness-Aware Imitation Learning. 2023. P. 2973-2979. doi: 10.1109/ICRA48891.2023.10161521.
8. Li Yuncheng, Yang Jianchao, Song Yale, Cao Liangliang, Luo Jiebo, Li Li-Jia. Learning from Noisy Labels with Distillation. 2017. P1928-1936. doi: 10.1109/ICCV.2017.211.
9. Charikar Moses, Steinhardt Jacob, Valiant Gregory. Learning from untrusted data. 2017. P. 47-60. doi: 10.1145/3055399.3055491.
10. EverittTom, Krakovna Viktoriya, Orseau Laurent, Legg Shane. Reinforcement Learning with a Corrupted Reward Channel. 2017. P. 4705-4713. doi: 10.24963/ijcai.2017/656.
11. Новиков А.Н. Технологические основы восстановления и упрочнения деталей сельскохозяйственной техники из алюминиевых сплавов электрохимическими способами. Орел: ОрелГАУ, 2001. 233 с.
12. Миронов Д.А., Сальников А.Ф. Анализ исследований динамического поведения роторных систем в процессе эксплуатации (обзор) // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. 2023. №73. С. 41-51.
13. Angluin Dana, Laird Philip. Learning From Noisy Examples. Machine Learning. 1988. №2. P. 343-370. doi: 10.1023/A%3A1022873112823.
14. Zhou Zhi-Hua. A Brief Introduction to Weakly Supervised Learning. National Science Review. 2017. №5. doi: 10.1093/nsr/nwx106.
15. Karimi Davood, Dou Haoran, Warfield Simon, Gholipour Ali. Deep learning with noisy labels: Exploring techniques and remedies in medical image analysis // Medical Image Analysis. 2020. №65. 101759. doi: 10.1016/j.media.2020.101759.
16. Srivastava Nitish, Hinton Geoffrey, Krizhevsky Alex, Sutskever Ilya, Salakhutdinov Ruslan. Dropout: A Simple Way to Prevent Neural Networks from Overfitting // Journal of Machine Learning Research. 2014. №15. P. 1929-1958.
17. Исполнительные устройства и системы для микроперемещений / Бобцов А.А., Бойков В.И., Быстров С.В., Григорьев В.В., Карев П.В. СПб: Университет ИТМО. 2017. 134с.
18. Брель Д.И., Гаммель Р.А., Гордиенко А.В. Применение «умных» структур в станкостроении // Новые горизонты - 2022: Сборник материалов IX Белорусско-Китайского молодежного инновационного форума. Минск: БНТУ. 2022. С. 85-87.
19. Yan Hao, Xiying Zhou, Jiajia Shao, Yukun Zhu The influence of multiple fillers on friction and wear behavior of epoxy composite coatings // Surface and coatings technology. Vol. 362. 2019. P. 213-219.
20. Train DDPG Agent to Swing Up and Balance Pendulum with noise [Электронный ресурс] / MathWorks. URL: <https://www.mathworks.com/help/reinforcement-learning/ug/train-ddpg-agent-to-swing-up-and-balance-pendulum.html>.

**Горин Андрей Владимирович**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева  
Адрес: 302030, Россия, г. Орел, Наугорское шоссе, 29  
К.т.н., доцент, кафедры мехатроники, механики и робототехники  
E-mail: gorin57@mail.ru

**Родичева Ирина Владимировна**

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

**Серебренников Артем Дмитриевич**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева  
Адрес: 302030, Россия, г. Орел, Наугорское шоссе, 29  
Студент  
E-mail: silver93.57@mail.ru

**Акимочкина Ольга Александровна**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева  
Адрес: 302030, Россия, г. Орел, Наугорское шоссе, 29  
Студент  
E-mail: tvk5876@rambler.ru

---

A.V. GORIN, I.V. RODICHEVA, A.D. SEREBRENNIKOV, O.A. AKIMOCHKINA

**CONTROL OF VEHICLE VIBRATION PROTECTION SYSTEMS BASED  
ON REINFORCEMENT LEARNING UNDER UNCERTAINTY**

**Abstract.** The article presents the results of studies of the control system of vibration protection mechanisms of a car based on reinforcement learning under uncertainty. The problem of occurrence of uncertainties when using a trained control system in a new environment is considered. It is shown that as a solution to the problem it is proposed to take into account possible of them in advance and introduce certain functions that allow the system to maintain operability. A solution to the problem of control of an inverted pendulum is presented. The problem was solved on the basis of Matlab and its software part Simulink.

**Keywords:** inverted pendulum, learning, uncertainty, calibration

## BIBLIOGRAPHY

1. Zhang Wenyu, Wang Jujie, Wang Jianzhou, Zhao Zengbao, Tian Meng. Short-term wind speed forecasting based on a hybrid model // Applied Soft Computing. 2013. №13. P. 3225-3233.
2. Passalis Nikolaos, Tefas Anastasios, Kanniainen Juho, Gabbouj Moncef, Iosifidis Alexandros. Deep Adaptive Input Normalization for Time Series Forecasting // IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. 2019. P. 1-6.
3. Хвостиков А.С. Вибрационный анализ роторной системы турбокомпрессоров // Современные научно-исследовательские технологии. 2020. №6-2. С. 293-298.
4. Калашников В.С., Кузина Е.А., Яшин Д.С. Анализ причин возникновения вибрации в изделиях авиационной техники // Надежность и качество: Труды международного симпозиума». 2016. Т. 1. С. 165-167.
5. Angluin Dana, Laird Philip. Learning From Noisy Examples // Machine Learning. №2. 1988. P. 343-370.
6. Zhang Xuezhou, Chen Yiding, Zhu Jerry, Sun Wen. Corruption-Robust Offline Reinforcement Learning. 2021.
7. Zheng Ray, Hu Kaizhe, Yuan, Zhecheng, Chen Boyuan, Xu Huazhe. Extraneousness-Aware Imitation Learning. 2023. P. 2973-2979. doi: 10.1109/ICRA48891.2023.10161521.
8. Li Yuncheng, Yang Jianchao, Song Yale, Cao Liangliang, Luo Jiebo, Li Li-Jia. Learning from Noisy Labels with Distillation. 2017. P1928-1936. doi: 10.1109/ICCV.2017.211.
9. Charikar Moses, Steinhardt Jacob, Valiant Gregory. Learning from untrusted data. 2017. P. 47-60. doi: 10.1145/3055399.3055491.
10. EverittTom, Krakovna Viktoriya, Orseau Laurent, Legg Shane. Reinforcement Learning with a Corrupted Reward Channel. 2017. P. 4705-4713. doi: 10.24963/ijcai.2017/656.
11. Новиков А.Н. Технологические основы восстановления и упрочнения деталей сельскохозяйственной техники из алюминиевых сплавов электрохимическими способами. Орёл: ОрелГАУ, 2001. 233 с.
12. Миронов Д.А., Сальников А.Ф. Анализ исследований динамического поведения роторных систем в процессе эксплуатации (обзор) // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. 2023. №73. С. 41-51.
13. Angluin Dana, Laird Philip. Learning From Noisy Examples. Machine Learning. 1988. №2. P. 343-370. doi: 10.1023/A%3A1022873112823.
14. Zhou Zhi-Hua. A Brief Introduction to Weakly Supervised Learning. National Science Review. 2017. №5. doi: 10.1093/nsr/nwx106.
15. Karimi Davood, Dou Haoran, Warfield Simon, Gholipour Ali. Deep learning with noisy labels: Exploring techniques and remedies in medical image analysis // Medical Image Analysis. 2020. №65. 101759. doi: 10.1016/j.media.2020.101759.
16. Srivastava Nitish, Hinton Geoffrey, Krizhevsky Alex, Sutskever Ilya, Salakhutdinov Ruslan. Dropout: A Simple Way to Prevent Neural Networks from Overfitting // Journal of Machine Learning Research. 2014. №15. P. 1929-1958.
17. Исполнительные устройства и системы для микроперемещений / Бобцов А.А., Бойков В.И., Быстров С.В., Григорьев В.В., Карев П.В. СПб: Университет ИТМО. 2017. 134с.
18. Брель Д.И., Гаммель Р.А., Гордиенко А.В. Применение «кумовых» структур в станкостроении // Новые горизонты - 2022: Сборник материалов IX Белорусско-Китайского молодежного инновационного форума. Минск: БНТУ. 2022. С. 85-87.
19. Yan Hao, Xiying Zhou, Jiajia Shao, Yukun Zhu The influence of multiple fillers on friction and wear behavior of epoxy composite coatings // Surface and coatings technology. Vol. 362. 2019. P. 213-219.
20. Train DDPG Agent to Swing Up and Balance Pendulum with noise [Электронный ресурс] / MathWorks. URL: <https://www.mathworks.com/help/reinforcement-learning/ug/train-ddpg-agent-to-swing-up-and-balance-pendulum.html>.

**Gorin Andrei Vladimirovich**

Orel State University

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

Candidate of technical sciences

E-mail: gorin57@mail.ru

**Roditheva Irina Vladimirovna**

Orel State University

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

Postgraduate student

E-mail: rodfox@yandex.ru

**Serebrennikov Artem Dmitrievich**

Orel State University

Address: 302026, Russia, Orel, Naugorskoe shosse, 29

Student

E-mail: silver93.57@mail.ru

**Akimochkina Olga Alexandrovna**

Oryol State University

Address: 302030, Russia, Orel, Naugorskoe highway, 29

Student

Email: tvk5876@rambler.ru

УДК 629.331  
doi:10.33979/2073-7432-2025-1-3(88)-110-119

Н.А. ЗАГОРОДНИЙ

## ФОРМИРОВАНИЕ ДИАПАЗОНОВ ПАРАМЕТРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ РЕЖИМЫ ДЛЯ ОТДЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ АВТОМОБИЛЕЙ

**Аннотация.** В работе рассматривается модель принятия решения по направлению транспортных средств в средний ремонт, капитальный ремонт, списание, базирующейся на системе прогнозирования воздействий. Разработаны критерии принятия решения по транспортным средствам при направлении в средний, капитальный ремонты, списание. Применение алгоритмов принятия решений в части управления эксплуатационной надежностью автомобилей при организации технического воздействия, мониторинга эксплуатационной надежности автомобилей и предприятия позволяет повысить эксплуатационную надежность агрегата, автомобиля и предприятия.

**Ключевые слова:** эксплуатационная надежность автомобилей, надежность автомобилей, эксплуатация автомобилей, период эксплуатации автомобилей, срок службы автомобилей

### **Введение**

Одним из важных вопросов обеспечения требуемого уровня эксплуатационной надежности является вопрос об организации технических воздействий, в основу которых положены принципы обеспечения требуемого уровня эксплуатационной надежности грузовых автомобилей и оптимальных затрат на поддержание этого уровня [1].

Основным критерием является целесообразность эксплуатации грузовых автомобилей в течение срока службы и за его пределами. Вместе с тем может наступить ситуация, при которой дальнейшая эксплуатация грузовых автомобилей нецелесообразна, экономически неэффективна или опасна.

При наличии противоречий на проведение среднего ремонта или капитального ремонта необходимо опираться на систему учета режимов эксплуатации и прогнозирования воздействий [2].

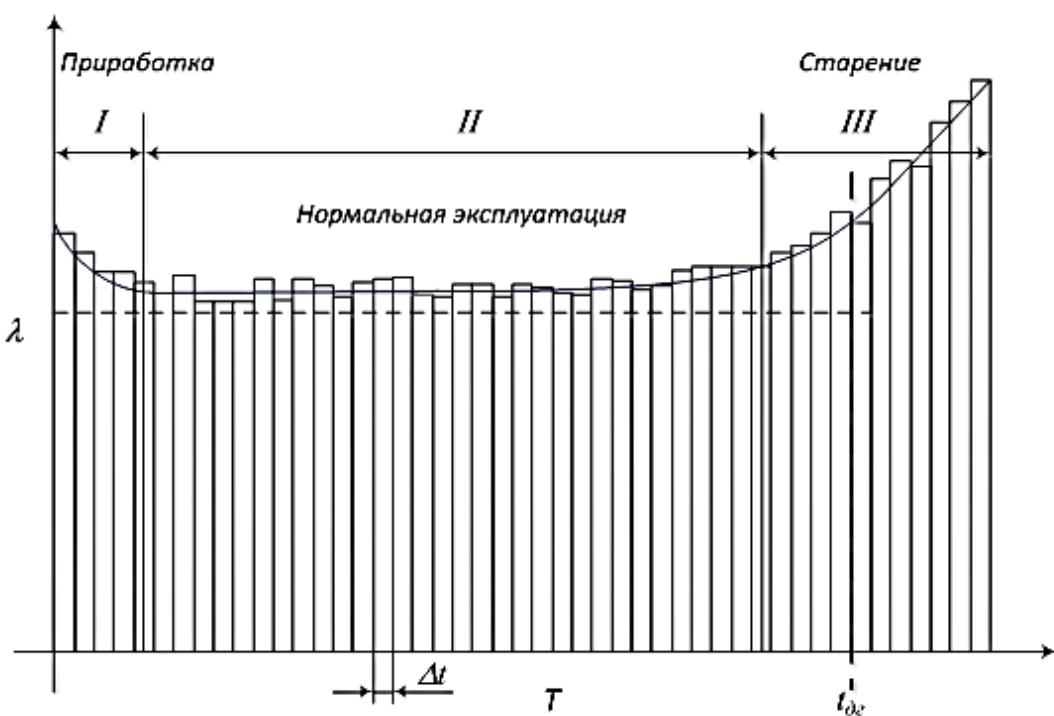
Принятие решений по порядку и критериям принятия решений в части управления эксплуатационной надежностью грузовых автомобилей при организации технического воздействия должно основываться на данных системы мониторинга эксплуатационной надежности. Основу мониторинга составляет система прогнозирования воздействий [3]. Концептуальная модель системы прогнозирования воздействий базируется на первичной информации о воздействиях на грузовые автомобили, информации с датчиков о режимах работы и условиях эксплуатации при мониторинге, а также данных бортовой системы диагностирования [4]. Обеспечение достоверности информации требует наличие административного и технического регламента мониторинга технических воздействий на грузовые автомобили при ТО и Р.

### **Материал и методы**

Для транспортных средств существует несколько видов зависимостей интенсивностей отказов агрегатов, узлов и деталей автомобиля от времени их возникновения. Данные зависимости соответствуют жизненному циклу автомобиля (рис. 1).

I стадия жизненного цикла: период приработки. На данном этапе наблюдается высокая частота возникновения отказов автомобиля. В период приработки возникают приработочные отказы. Такие отказы автомобиля снижаются медленно. В основе приработочных отказов лежат конструкционные и производственные отказы. Приработочные отказы на автомобиле устраняются с помощью проведения различных способов нагружения деталей, а именно обкатки деталей. Обкатка проводится в гарантийный период автомобиля.

Распределение интенсивности приработочных отказов подчиняется закону - распределения Вейбулла.



**Рисунок 1 – Взаимосвязь интенсивности отказов агрегатов автомобиля от времени их возникновения**

II стадия жизненного цикла: период нормальной эксплуатации. На данном этапе возникает наименьшее число отказов, но при этом, они возникают всегда. Данный этап еще называют периодом нормальной эксплуатации автомобиля. Возникшие отказы в данный период называются внезапными или случайными. Распределение интенсивности внезапных отказов подчиняется экспоненциальному закону распределения.

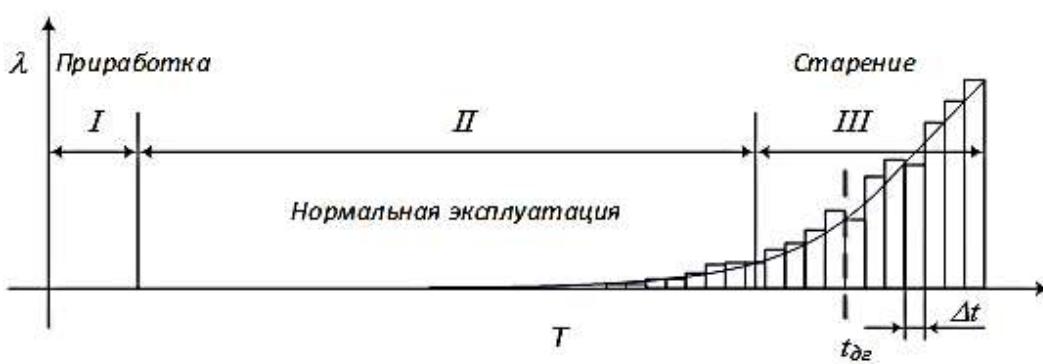
III стадия жизненного цикла: период старения или износа. На данном этапе возникает резкое увеличение интенсивности деградационных отказов. Распределение интенсивности деградационных отказов подчиняется нормальному закону распределения. Увеличение интенсивности отказов автомобиля происходит по линейному закону.

Вероятностный анализ надежности автомобиля происходит на результатах полученной информации и конкретных параметрах. Распределение вероятностей безотказной работы системы, агрегатов и узлов автомобиля будет различным. Данное распределение определяется в период включения и до момента отказа [5]. Время между соседними отказами является непрерывной случайной величиной. В свою очередь, данная случайная величина подчиняются определенной стадии жизненного цикла автомобиля (рис. 1).

У работоспособных автомобилей, оснащенных наиболее надежными системами в период нормальной эксплуатации автомобиля отказы могут отсутствовать или возникать крайне редко. Наиболее часто отказы проявляются в период старения (рис. 2).

Автомобили с течением времени изнашиваются и исходя из видов отказов и интенсивности отказов выбирается вид сервисных воздействий [6].

Для того, чтобы определить в каких случаях целесообразнее провести средний, капитальный ремонт или списание автомобиля, т.е. его утилизацию, необходимо изначально определить изменение закона распределения интенсивности отказов из-за наличия деградационных отказов, а также провести анализ условий эксплуатации автомобиля, нагрузочного режима и его режима работы.



**Рисунок 2 – Взаимосвязь интенсивности отказов агрегатов автомобиля от времени их возникновения для более надежных систем**

### Теория / Расчет

Средний ремонт автомобиля – ремонт, выполняемый с целью восстановления утраченной работоспособности автомобиля или частичного восстановления деталей, вышедших из строя. При среднем ремонте восстанавливаются не только детали, вышедшие из строя, но и проводится контроль технического состояния других агрегатов, деталей и систем автомобиля. Восстановление составных частей автомобиля ограниченной номенклатуры происходит при таком сервисном воздействии, как средний ремонт [7].

Определение параметров закона распределения при появлении деградационных отказов позволит понять в какой момент времени целесообразно провести средний, капитальный ремонты или списание автомобиля [8, 9]. Большой разброс параметров закона распределения может быть из-за различных условий эксплуатации, нагрузочного режима или режима работы автомобилей [10].

Для того, чтобы избежать появления данной ошибки необходимо использование системы контроля и учета параметров режима работы агрегатов и условий эксплуатации автомобилей. Для мониторинга данных параметров учитывается информация, полученная от систем бортовой диагностики. Алгоритм работы данной системы мониторинга наглядно представлен на рисунках 3 и 4.

Для того, чтобы определить момент времени для отправки автомобиля в средний или капитальный ремонт или его утилизировать, необходимо получить информацию из баз данных автомобилей предприятия, баз данных о режимах работы грузовых автомобилей, наименованиях отказов, неисправностей и воздействий на автомобиль, полученной с помощью систем бортовой диагностики в том числе, баз данных типовой конструкции и баз данных типовой конструкции агрегатов, а также сведения об отработанном ресурсе автомобиля.

Далее происходит выделение из баз данных типовой конструкции множества транспортных средств  $K_i$ , имеющих близкие распределения наработки по режимам работы и условиям эксплуатации с текущим грузовым автомобилем. Выполняется определение параметров закона распределения интенсивности отказов и технических воздействий этой группы образцов [11]. Для увеличения достоверности определения параметров закона распределения интенсивности отказов и технических воздействий текущего автомобиля выполняется анализ всех видов прогнозируемых воздействий на планируемый год, и определяются остаточные ресурсы до этих воздействий [12].

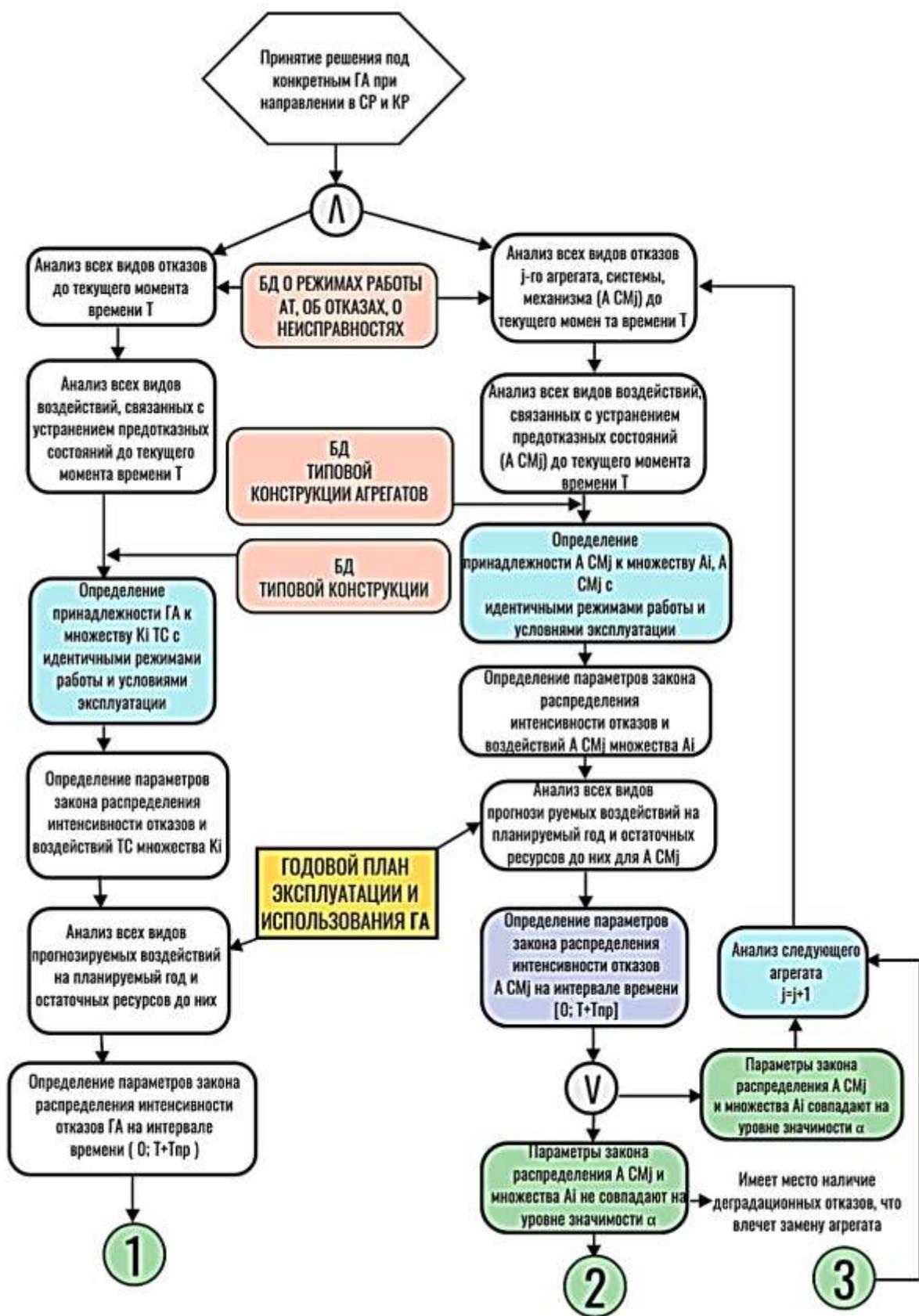


Рисунок 3 – Алгоритм принятия решения о направлении его в один из видов ремонта или списание (начало)

Анализ, возникающих отказов, осуществляется с начала эксплуатации автомобиля.

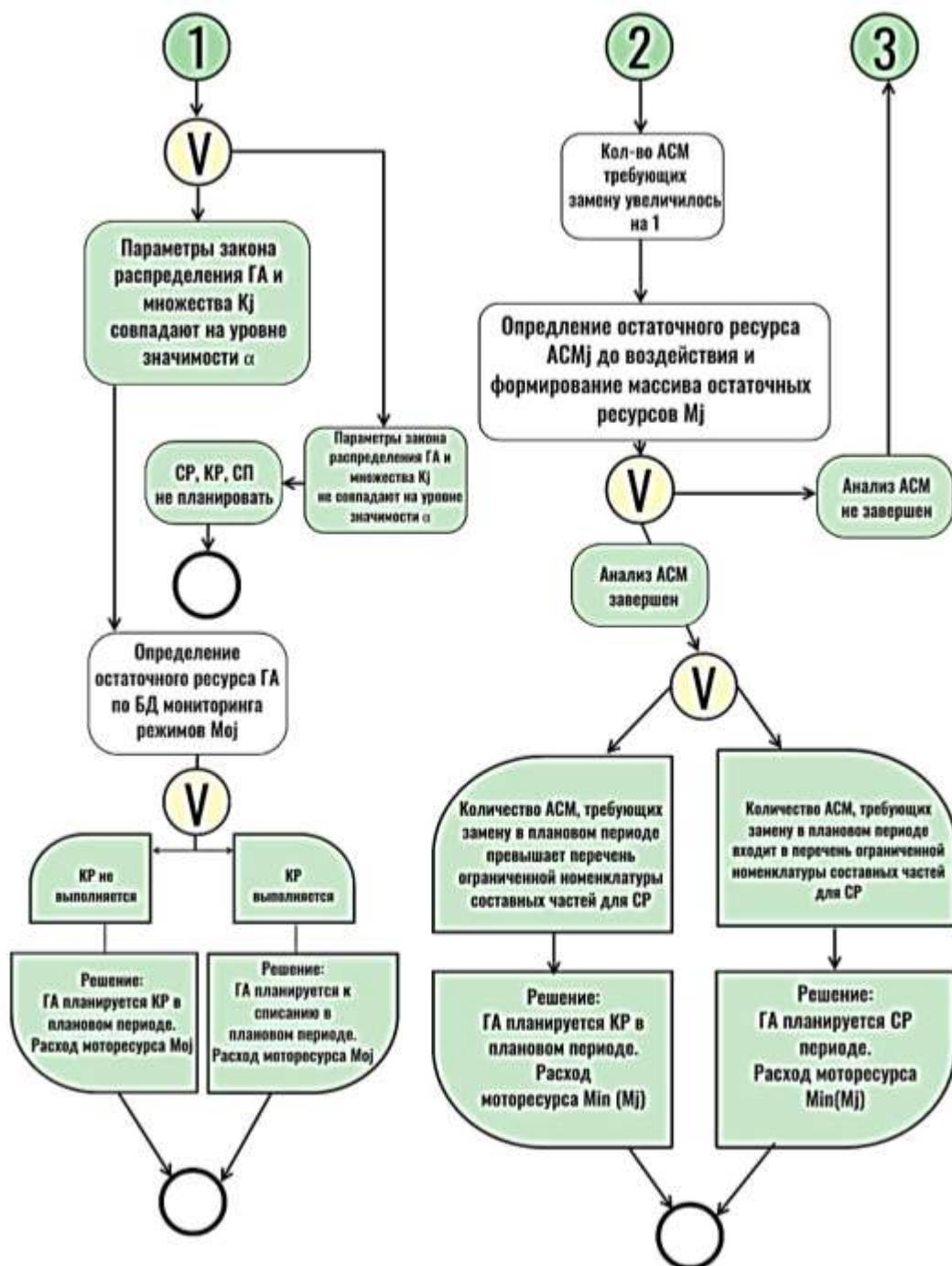


Рисунок 4 – Продолжение алгоритма принятия решения о направлении его в средний, капитальный ремонты или на списание

### Результаты

Полученные результаты определения параметров закона распределения интенсивности возникающих отказов и видов воздействий на автомобиль необходимо сравнить с параметрами закона распределения транспортных средств и множества  $K_i$  на уровне значимости  $\alpha$ . В случае если находятся отличия и параметры не совпадают на уровне значимости  $\alpha$ , то планирование одного из видов ремонта автомобиля или его утилизация является нецелесообразной [13]. Если параметры совпадают на уровне значимости  $\alpha$ , то возникают деградационные отказы и далее уже выполняется расчет остаточного ресурса до

воздействия. В случае если его величина превышает установленную техническую характеристику среднюю наработку на отказ, то в расчет берется следующее прогнозируемое воздействие. На планируемый период планируется расход моторесурса равный суммарному остаточному ресурсу до прогнозируемых воздействий, не включая то, до которого наработка составит менее величины средней наработки на отказ, установленной технической характеристики (рис. 5). В связи с этим устанавливается, что требуется проведение капитального ремонта автомобиля.

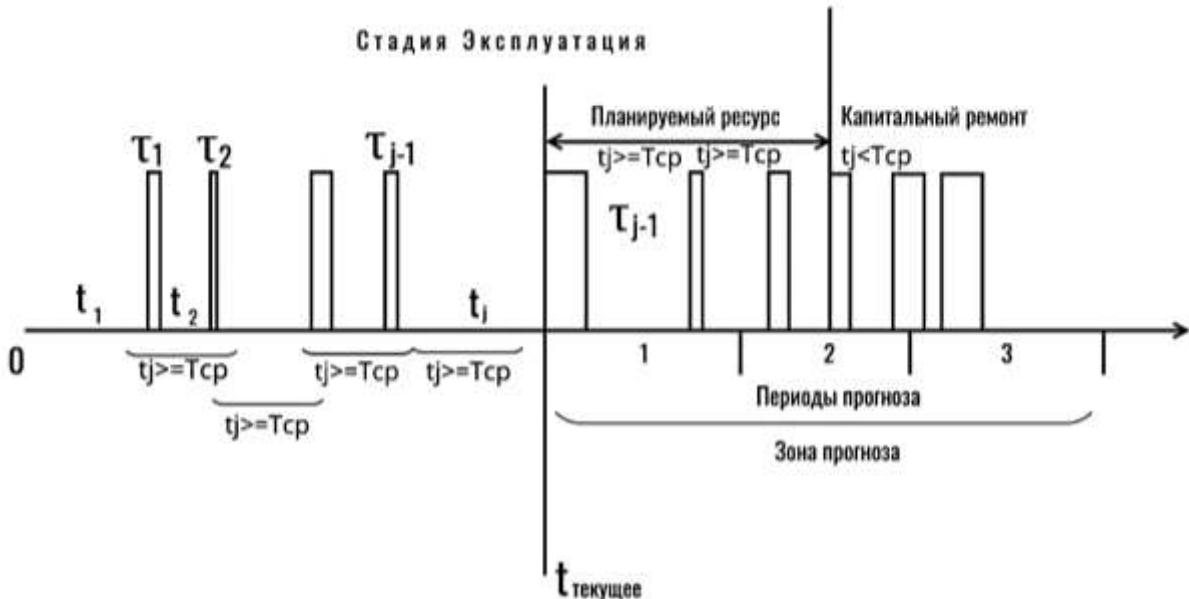


Рисунок 5 – Ресурс автомобиля после капитального ремонта

Аналогично осуществляется анализ по конкретному агрегату, системе, механизму (АСМ), имеющемуся в базах данных ТКА (типовой конструкции агрегатов). При данном анализе учитываются все виды отказов, количество отказов, интенсивность отказов, количество и методы всех сервисных воздействий на автомобиль, а также будущие возможные отказы на автомобиле, проявляемые в дальнейшем в период старения.

Определяется принадлежность текущего АСМ<sub>j</sub> к множеству  $A_i$  агрегатов, имеющихся в базах ТК. Определяются параметры закона распределения интенсивности отказов АСМ<sub>j</sub> множества  $A_i$ , а также текущего автомобиля. Параметры закона распределения интенсивности отказов АСМ<sub>j</sub> текущего автомобиля определяются с учетом планируемых воздействий на плановый период и планируемого расхода ресурса.

Если имеет место совпадение параметров закона распределения интенсивности отказов АСМ<sub>j</sub> множества  $A_i$ , и текущего автомобиля на уровне значимости  $\alpha$ , то для данного агрегата, системы, механизма отказы носят деградационный характер и необходима замена этого агрегата. Остаточный ресурс АСМ определяется по методу, представленному на рисунке 5. Если совпадения параметров закона распределения нет, то АСМ замены не требует.

Если количество деталей при ремонте превышает ограниченную номенклатуру составных частей автомобиля, то планируется капитальный ремонт. Если количество деталей при ремонте не превышает ограниченную номенклатуру составных частей автомобиля, то планируется средний ремонт.

Если полученные результаты проведенного анализа агрегатов, узлов и деталей, предполагающих замену на новые детали, а именно количество агрегатов равно нулю, то для автомобилей не планируется проведение капитального и среднего ремонтов, в том числе и списание [14].

Для того чтобы произвести списание автомобиля необходимо учитывать все параметры автомобиля, на основе которых может быть принято решение о его списании.

Данное решение должно быть четким, взвешенным и подтверждённым [15].

Капитальный ремонт автомобиля планируется в случае если наблюдается увеличение числа отказов автомобиля и интенсивность отказов соответствует линейной форме, а закон распределения интенсивности этих отказов соответствует нормальному закону распределения.

Величина наработки автомобиля является еще одним критерием для выбора соответствующего вида воздействий на автомобиль. Наработка автомобиля характеризуется режимом работы автомобиля и условиями его эксплуатации. При выборе среднего или капитального ремонта автомобиля или его списания, величина наработки учитывается если в базе данных типовой конструкции находится статистически значимая выборка списанных автомобилей с со схожими режимами работы и условиями эксплуатации.

При выборе проведения среднего или капитального ремонта, или его списания учитывается и стоимость поддержания технически исправного состояния автомобиля. При увеличении затрат на поддержание работоспособного состояния автомобиля производится расчет экономической целесообразности дальнейшей эксплуатации автомобиля. Если затраты выше, чем удельные затраты с момента начала эксплуатации автомобиля, то рекомендуется провести его списание.

Дополнительным признаком является величина наработки между отказами. Если наступает предельное состояние, то наблюдается снижение наработки между отказами. А время восстановления, наоборот, увеличивается. В таком случае коэффициент технической готовности автомобиля может уменьшиться [16, 17].

### ***Обсуждение***

Для формирования адекватного подхода к решению задачи прогнозирования возникновения неисправностей важно знать перечень всех видов неисправностей, которые способны проявляться в данном автомобиле, а также иметь четкое представление о причинно-следственных связях при взаимодействии деталей, узлов и агрегатов между собой, а также логику развития неисправностей в соответствии с этими взаимосвязями. Необходимо также быть уверенным и иметь возможность подтвердить достоверность информации о значениях различных контролируемых параметров, характеризующих режимы работы, а также связанные с ними эксплуатационные параметры и параметры технического состояния, используемых в дальнейшем в расчетах.

Алгоритм по принятию решения по автомобилю при направлении в различные виды ремонта или на списание основывается на системе прогнозирования сервисных воздействий. Система прогнозирования сервисных воздействий основывается на информации, полученной из баз данных неисправностей по образцам, ТК и типовым конструкциям АМС.

Критерием принятия решения по автомобилям при направлении на различные виды ремонта или списание используется изменение закона распределения интенсивности отказов и неисправностей автомобиля на основе данных системы контроля и учета параметров режима работы агрегатов и условий эксплуатации автомобилей.

Алгоритм принятия решения о проведении среднего ремонта, капитального ремонта или списания учитывает следующее:

- списание автомобиля происходит если на автомобиле ранее уже выполнялся капитальный или средний ремонт;
- капитальный ремонт осуществляется на автомобиле если он ранее еще не проводился. Если количество деталей, требующих восстановления или замены новыми, не соответствует ограниченной номенклатуре, то проводится капитальный ремонт. Наработка автомобиля на режимах работы и условиях эксплуатации соответствует выходу в капитальный ремонт;

Алгоритм принятия решения о проведении среднего ремонта, капитального ремонта или списания учитывает следующее:

- средний ремонт производится, если количество деталей, требующих восстановления или замены новыми, соответствует ограниченной номенклатуре. Наработка автомобиля на режимах работы и условиях эксплуатации соответствует выходу в средний ремонт.

Мониторинг эксплуатационной надежности парка грузовых автомобилей имеет принципиальные отличия от мониторинга эксплуатационной надежности отдельного грузового автомобиля. По концепции работы предполагается, что эксплуатационная надежность парка по соответствующим показателям рассчитывается на основании данных о текущем состоянии техники и состоянии в прошедшие периоды. Кроме того, выполняется прогнозирование эксплуатационной надежности парка на какой-то период времени [18].

На вход в систему мониторинга эксплуатационной надежности парка поступает информация из баз данных эксплуатационной надежности предприятия, а также из баз данных ТК, баз данных ТКА и баз данных грузовых автомобилей предприятия. Прогнозирование эксплуатационной надежности парка возможно в том случае, если имеется статистически значимая информация в базах данных ТК и базах данных ТКА.

Если такой статистически значимой информации нет, то на основании баз данных «Эксплуатационная надежность грузовых автомобилей предприятия» выполняется расчет показателей эксплуатационной надежности на текущую дату и за указанный период с формированием отчета по указанию пользователя.

При наличии статистически значимой информации в указанных выше базах данных выполняется расчет прогнозирования воздействий по каждому грузовому автомобилю на год [19]. Входной информацией кроме указанных баз данных является годовой план эксплуатации и ремонта предприятия. Прогнозирование на какой-либо период  $T$  выполняется на основе месячного плана эксплуатации и ремонта предприятия.

### **Выводы**

Особенностью процедуры прогнозирования является то, что показатели эксплуатационной надежности парка предприятия рассчитываются в календарном периоде, то есть по датам на какой-то период [20]. А прогнозирование воздействий на грузовой автомобиль построено во временном ряду наработки, как правило, в километрах пробега. Для решения этой задачи при прогнозировании на месяц в расчет принимается величина расхода моторесурса, указанная в месячном плане, в предположении равномерного распределения предполагаемой наработки по дням.

При прогнозировании на год или его оставшуюся часть предполагается, что остаток моторесурса на год равномерно распределен по месяцам и равномерно по дням в месяце. Если лицо, выполняющее прогноз эксплуатационной надежности парка, знает распределение по месяцам, то информационная система предоставляет возможность такого учета и расчет ведется исходя из указанного распределения ресурса.

Информационная система прогнозирования воздействий имеет в качестве задачи решение оптимизационной задачи распределения расхода моторесурса по месяцам в течение года по таким критериям как достижение требуемых значений показателей эксплуатационной надежности при известной продолжительности прогнозируемых воздействий; планирование воздействий из расчета не превышения производственной мощности предприятия; обеспечение наименьшей стоимости воздействий при условии сохранения показателей эксплуатационной надежности не ниже нормативных величин и др.

После выполнения такого прогноза по всем образцам грузовых автомобилей определяется прогноз показателей эксплуатационной надежности парка грузовых автомобилей предприятия на указанные периоды с формированием отчета по указанию пользователя.

Применение алгоритмов принятия решений в части управления эксплуатационной надежностью грузовых автомобилей при организации технического воздействия, мониторинга эксплуатационной надежности грузовых автомобилей и предприятия позволяет повысить эксплуатационную надежность агрегата на 45 %, автомобиля на 27%, предприятия на 16% соответственно на рассматриваемом предприятии.

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

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Заяц Ю.А., Загородний Н.А. Построение плана эксперимента для решения первой задачи прогнозирования остаточного ресурса транспортных средств // Научный резерв. Рязань: РВВДКУ. 2023. №3(23). С.51-56.
2. Заяц Ю.А., Сальников А.В. Расчет коэффициента технической готовности образцов военной автомобильной техники по временным показателям // Научный резерв. Рязань: РВВДКУ. 2018. №4. С. 36-40.
3. Заяц Ю.А., Заяц Т.М., Загородний Н.А. Решение первой задачи прогнозирования воздействий и остаточного ресурса транспортных средств // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №3-2(82). С. 25-31.
4. Кондрашова Е.В., Козлов В.Г., Яковлев К.А., Скворцова Т.В., Заболотная А.А. Повышение эффективности технической эксплуатации автотранспортных средств по результатам исследования их эксплуатационных показателей // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2015. №4(47). С. 80-86.
5. Копылова О.А. Кластеризация сбора транспортно-логистических систем // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2013. №4(4). С. 73-81.
6. Королев А.Е. Влияние параметров конструкции дизельных двигателей на технические показатели их работы // Грузовик. 2023. №9. С. 3-5.
7. Косенко Е.Е., Черпаков А.В., Косенко В.В., Недолужко А.И. Методы оценки эксплуатационной надежности автомобилей // Инженерный вестник Дона. 2017. №3(46). С. 33.
8. Лянденбургский В.В. Коэффициент издержек динамичной системы технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей // Мир транспорта и технологических машин. 2015. №2(49). С. 19-24.
9. Максимов В.И. Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций // Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций (CASC'2001): Материалы I Междунар. конф. В 3 т. М.: ИПУ РАН. 2001. Т. 2. С. 10-21.
10. Матвиенко И.В. Формирование комплекса мероприятий, направленных на обеспечение эксплуатационной надежности транспортных средств // Новости науки и технологий. 2022. №2(61). С. 11-18.
11. Семыкина А.С. Неисправности современных автомобилей. Применение компьютерных программ для расчета технических параметров поршня // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2016. С. 1751-1756.
12. Семыкина А.С., Загородний Н.А., Коверженко Д.Ф. Определение рационального периода эксплуатации карьерных транспортных средств и оценка эффективности их использования // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №3-1(86). С. 67-74.
13. Семыкина А.С., Загородний Н.А., Конев А.А. Повышение эффективности эксплуатации транспортного комплекса горно-обогатительных комбинатов // Мир транспорта и технологических машин. 2018. №1(60). С. 134-139.
14. Сысков В.В., Борисов В.В. Подход к построению системы интеллектуального процессного управления для обеспечения эффективной коллективной деятельности // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2015. №11(83). С. 3.
15. Сысков В.В., Борисов В.В. Постановка задачи процессного управления в сложных организационно-технических системах // Известия Смоленского государственного университета. 2015. №2/1. С. 301.
16. Терентьев А.В., Беляев А.И. К вопросу развития системы управления жизненным циклом автомобиля // Транспорт Российской Федерации. СПб. №5(60). 2015. С. 30-32.
17. Терентьев А.В., Прудовский Б.Д. Метод оперативного анализа технического состояния автомобиля // Записки Горного института. Т. 209. СПб.: Национальный минерально-сырьевый университет «Горный». 2014. С. 197-199.
18. Терентьев А.В. Научно-методический подход к многокритериальной оценке срока эксплуатации автомобиля: Дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.10. Санкт-Петербург, 2019. 303 с.
19. Шатерников М.В., Корчагин В.А., Шатерников В.С. Повышение надежности и долговечности двигателя ЯМЗ-240Н // Автотранспортное предприятие. 2014. №7. С. 41-45.
20. Якунин Н.Н. Методологические основы контроля и управления техническим состоянием автомобилей в эксплуатации: Дис. ... д-ра техн. наук: 05.22. Оренбург, 2004. 297 с.

**Загородний Николай Александрович**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

К.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Эксплуатация и организация движения автотранспорта»

E-mail: n.zagorodnj@yandex.ru

N.A. ZAGORODNY

## FORMATION OF RANGES OF PARAMETERS THAT DETERMINE THE OPERATING CONDITIONS FOR INDIVIDUAL VEHICLE UNITS

**Abstract.** The paper considers a decision-making model for sending vehicles to medium repair, major repairs, and write-off based on an impact forecasting system. Criteria for making a decision on vehicles have been developed for referral to medium, major repairs, and write-off. The use of decision-making algorithms in terms of managing the operational reliability of cars in the organization of technical impact, monitoring the operational reliability of cars and enterprises can improve the operational reliability of the unit, car and enterprise.

**Keywords:** operational reliability of cars, reliability of cars, operation of cars, period of operation of cars, service life of cars

## BIBLIOGRAPHY

1. Zayats YU.A., Zagorodniy N.A. Postroenie plana eksperimenta dlya resheniya pervoy zadachi prognozirovaniya ostatochnogo resursa transportnykh sredstv // Nauchnyy rezerv. Ryazan': RVVDKU. 2023. №3(23). S. 51-56.
2. Zayats YU.A., Sal'nikov A.V. Raschet koefitsienta tekhnicheskoy gotovnosti obraztsov voennoy avtomobil'noy tekhniki po vremennym pokazatelyam // Nauchnyy rezerv. Ryazan': RVVDKU. 2018. №4. S. 36-40.
3. Zayats YU.A., Zayats T.M., Zagorodniy N.A. Reshenie pervoy zadachi prognozirovaniya vozdeystviy i ostatochnogo resursa transportnykh sredstv // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №3-2(82). S. 25-31.
4. Kondrashova E.V., Kozlov V.G., YAKOVLEV K.A., Skvortsova T.V., Zabolotnaya A.A. Povyshenie effektivnosti tekhnicheskoy ekspluatatsii avtotransportnykh sredstv po rezul'tatam issledovaniya ikh ekspluatatsionnykh pokazateley // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2015. №4(47). S. 80-86.
5. Kopylova O.A. Klasterizatsiya sbora transportno-logisticheskikh sistem // Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii. 2013. №4(4). S. 73-81.
6. Korolev A.E. Vliyanie parametrov konstruktsii dizel'nykh dvigateley na tekhnicheskie pokazateli ikh raboty // Gruzovik. 2023. №9. S. 3-5.
7. Kosenko E.E., Cherpakov A.V., Kosenko V.V., Nedoluzhko A.I. Metody otsenki ekspluatatsionnoy nadezhnosti avtomobiley // Inzhenernyy vestnik Dona. 2017. №3(46). S. 33.
8. Lyandenburskiy V.V. Koefitsient izderzhek dinamicheskoy sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya i tekushchego remonta avtomobiley // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2015. №2(49). S. 19-24.
9. Maksimov V.I. Kognitivnyy analiz i upravlenie razvitiem situatsiy // Kognitivnyy analiz i upravlenie razvitiem situatsiy (CASC'2001): Materialy I Mezhdunar. konf. V 3 t. M.: IPU RAN. 2001. T. 2. S. 10-21.
10. Matvienko I.V. Formirovanie kompleksa meropriyatiy, napravlennykh na obespechenie ekspluatatsionnoy nadezhnosti transportnykh sredstv // Novosti nauki i tekhnologiy. 2022. №2(61). S. 11-18.
11. Semykina A.S. Neispravnosti sovremennoy tekhnicheskoy avtomobiley. Primenenie komp'yuternykh programm dlya rascheta tekhnicheskikh parametrov porshnya // Mezhdunarodnaya nauchno-teknicheskaya konferentsiya molodykh uchenykh BGTU im. V.G. Shukhova Belgorodskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskiy universitet im. V.G. Shukhova. 2016. S. 1751-1756.
12. Semykina A.S., Zagorodniy N.A., Koverzhenko D.F. Opredelenie ratsional'nogo perioda ekspluatatsii kar'ernykh transportnykh sredstv i otsenka effektivnosti ikh ispol'zovaniya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2024. №3-1(86). S. 67-74.
13. Semykina A.S., Zagorodniy N.A., Konev A.A. Povyshenie effektivnosti ekspluatatsii transportnogo kompleksa gorno-obogatitel'nykh kombinatov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2018. №1(60). S. 134-139.
14. Syskov V.V., Borisov V.V. Podkhod k postroeniyu sistemy intellektual'nogo protsessnogo upravleniya dlya obespecheniya effektivnoy kollektivnoy deyatel'nosti // Upravlenie ekonomicheskimi sistemami: elektronnyy nauchnyy zhurnal. 2015. №11(83). S. 3.
15. Syskov V.V., Borisov V.V. Postanovka zadachi protsessnogo upravleniya v slozhnykh organizatsionno-teknicheskikh sistemakh // Izvestiya Smolenskogo gosudarstvennogo universiteta. 2015. №2/1. S. 301.
16. Terent'ev A.V., Belyaev A.I. K voprosu razvitiya sistemy upravleniya zhiznennym tsikлом avtomobilya // Transport Rossiyskoy Federatsii. SPb. №5(60). 2015. S. 30-32.
17. Terent'ev A.V., Prudovskiy B.D. Metod operativnogo analiza tekhnicheskogo sostoyaniya avtomobilya // Zapiski Gornogo instituta. T. 209. SPb.: Natsional'nyy mineral'no-syr'evoy universitet «Gornyy». 2014. S. 197-199.
18. Terent'ev A.V. Nauchno-metodicheskiy podkhod k mnogokriterial'noy otsenke sroka ekspluatatsii avtomobilya: Dis. ... d-ra tekhn. nauk: 05.22.10. Sankt-Peterburg, 2019. 303 s.
19. Shaterinkov M.V., Korchagin V.A., Shaternikov V.S. Povyshenie nadezhnosti i dolgovechnosti dvigatelya YAMZ-240N // Avtotransportnoe predpriyatie. 2014. №7. S. 41-45.
20. YAKUNIN N.N. Metodologicheskie osnovy kontrolya i upravleniya tekhnicheskim sostoyaniem avtomobiliy v ekspluatatsii: Dis. ... d-ra tekhn. nauk: 05.22. Orenburg, 2004. 297 c.

**Zagorodny Nikolay Alexandrovich**

Belgorod State Technological University

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

Candidate of technical science

E-mail: n.zagorodnj@yandex.ru

УДК 656.11:656.021.8:65.011.46  
doi:10.33979/2073-7432-2025-1-3(88)-120-129

А.В. БЕЛОВ, Ю.В. БУТЕНКО

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВ ДОСТИЖЕНИЯ СИСТЕМНО-ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ С ПОЯВЛЕНИЕМ ПОДКЛЮЧЕННЫХ И ВЫСОКОАВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

*Аннотация.* В статье рассматриваются перспективы и препятствия на пути повышения эффективности работы улично-дорожных сетей (УДС) городов, открывающиеся с развитием технологий автоматизации управления автомобилем и кооперативных интеллектуальных транспортных систем (подключенных автомобилей, систем V2X). Приводятся результаты анализа причин возникновения задержек на УДС, возможностей их устранения путем управляемого распределения потоков и предлагается системный взгляд на решение задачи достижения системно-оптимального распределения, то есть максимальной эффективности работы УДС.

**Ключевые слова:** высокоавтоматизированные транспортные средства, системно-оптимальное распределение, управление дорожным движением, V2X

### Введение

Попытки решения проблемы транспортных заторов на улично-дорожных сетях (УДС) путем оптимизации организации и управления дорожным движением предпринимаются вот уже на протяжении почти 100 лет, с тех пор когда в 20-х гг. прошлого века расширение массового производства автомобилей привело к революции в транспортных системах. Однако, на сегодняшний день проблема транспортных заторов не только не решена, но и продолжает нарастать, угрожая темпам экономического развития городов. В транспортной науке известны два состояния загрузки УДС: равновесие, на основе выбора водителей (*User Equilibrium (UE)*) и системно-оптимальное распределение (*System Optimum (SO)*), известные также как первый и второй принципы Уордропа [1]. При этом аналогичный принцип равновесного и оптимального распределения применим не только для маршрутов, но и для распределения по времени совершения поездки [2]. В данной статье мы рассматриваем современное состояние методов управления дорожным движением и показываем, что достичь оптимального распределения по маршрутам, и тем более оптимального распределения во времени (решить проблему транспортных заторов), с помощью традиционных подходов к управлению дорожным движением практически невозможно. Сегодня транспортные системы стоят на пороге новой революции. Многие ожидают, что с появлением высокоавтоматизированных и подключенных автомобилей (систем двусторонней связи V2X – vehicle to everything) станет возможным решение многих транспортных проблем, в том числе проблемы заторов. Анализируя возможности оптимизации работы УДС можно сделать вывод, что существенный эффект невозможно получить даже при наличии очевидно необходимой четкой координации в управлении транспортными потоками, необходимо еще и наличие возможности прямого регулирования доступа на УДС. Как результат данного исследования предлагается системный взгляд на задачу достижения оптимального использования потенциала УДС высокоавтоматизированными и подключенными транспортными средствами (ВАПТС), в том числе на переходный период смешанных потоков.

### **Материал и методы**

Применяя системный подход и анализ, авторы рассматривают принципы и механизм формирования транспортных потоков на УДС. Далее методами дедукции и мысленного эксперимента выявляются причины невозможности полного использования потенциала пропускной способности УДС на основе существующих методов управления и организации дорожного движения. С учетом выявленных особенностей загрузки УДС синтезируется облик системы управления дорожным движением для высокоавтоматизированных и подключенных транспортных средств на основе целенаправленного формирования потоков, способной приблизить транспортные потоки к системно-оптимальному распределению как по маршрутам, так и во времени.

### **Теория / Расчет**

Широко известные принципы распределения потоков по сети Уордропа говорят нам о том, что существует теоретическая возможность повысить эффективность использования УДС директивно регулируя распределение транспортных потоков по маршрутам следования. Исследованию возможности достижения системно-оптимального состояния посвящено огромное количество работ, в основном зарубежных авторов, однако так и не выработано единого подхода к достижению этого распределения на практике. Основным методом достижения оптимального распределения в теории является выравнивание маржинальной стоимости движения (определенной насколько проезд дополнительного автомобиля по данному маршруту ухудшит время движения всех остальных участников) путем добавления дополнительной стоимости к времени проезда определенного маршрута. Основная проблема применения такого подхода на практике заключается в необходимости точного определения функции изменения времени движения от загрузки (*volume-delay function (VDF)*) и ее производной.

Кроме оптимального распределения по маршрутам существует также возможность повышения эффективности работы УДС за счет распределения потоков во времени. Выбирая время начала поездки, водители стремятся прибыть в пункт назначения в некоторый желаемый момент времени, при этом раннее прибытие или опоздание рассматриваются как дополнительные потери с разными весовыми коэффициентами. В этом смысле также могут быть два состояния: равновесие с точки зрения пользователя, когда никто не может уменьшить свои общие затраты изменения время начала поездки, и когда суммарное время движения минимально. Существование данного различия обусловлено снижением пропускной способности вследствие образования затора (*capacity drop*). Закономерный вопрос – насколько хуже равновесное распределение, чем системно-оптимальное? Отношение суммарного времени движения при равновесном распределении к минимальному часто называют «ценой анархии» (*Price of Anarchy (PoA)*), т.е. ценой отсутствия централизованного управления. Анализ результатов различных исследований показывает, что данная величина не имеет устойчивого значения и сильно зависит от конфигурации сети, особенностей *VDF* и даже параметров поведения водителей [3]. Максимальные значения *PoA* для реальных сетей, встречающиеся в литературе, достигают величины 2-2,5, например, в исследовании для транспортной сети Бостона [4].

Получая такие значения, многие авторы делают очевидный на первый взгляд вывод, что директивная маршрутизация может в 2 и более раза снизить потери времени на УДС. Однако, важная особенность *PoA* состоит в том, что она практически исчезает при перегрузке УДС [5]. Это обусловлено особенностями изменения задержки в перегруженном состоянии, когда взаимодействие между автомобилями в потоке уже таково, что изменение времени проезда с каждым новым автомобилем становится практически линейным. Следовательно, если мы наблюдаем заторы в состоянии *UE*, возможности снизить суммарное время движения путем маршрутизации практически отсутствуют. Вместе с тем следует отметить, что реальное распределение потоков на УДС, как правило, далеко от идеального равновесия и меры по информированию участников движения о текущих кратчайших маршрутах могут улучшить ситуацию, но не ведут к оптимальному состоянию.

Таким образом, снижение суммарного времени пребывания автомобилей в перегруженной сети возможно только путем распределения потоков во времени. При этом величина

*PoA* в случае распределения во времени не имеет верхней границы, чем дольше период перегрузки сети, тем больше будет разница между равновесным и оптимальным распределениями.

Задача распределения потоков во времени и предотвращения эффекта «падения» пропускной способности при перегрузке участка дороги или сети в целом имеет длительную историю развития, как с точки зрения теоретических обоснований, так и практического применения. Технологии контроля доступа на магистрали (*ramp metering*) начали разрабатываться и применяться в США уже в 1950-х гг. На сегодняшний день разработаны и продолжают активно развиваться технологии «сдерживания» потоков (*gating*) посредством светофорного регулирования для предотвращения снижения производительности некоторой части УДС [6,7]. Основная задача регулирования доступа состоит в том, чтобы поддерживать поток на уровне ниже пропускной способности, т.е. в состоянии, не превышающем определенной критической плотности, при достижении которой происходит образование затора, как, например, предлагается в [8]. Однако, определение такого порогового значения вызывает существенные затруднения вследствие стохастической природы транспортного потока из управляемых людьми автомобилей. Как утверждает автор 3-х фазной теории транспортных потоков Б. Кернер, классические теории не способны объяснить эту стохастичность, что приводит к неверным результатам моделирования [9]. Он предлагает вероятностный подход к определению момента перехода состояния потока от свободного к синхронизированному (*flow breakdown probability*) и вводит понятие минимальной и максимальной пропускной способности, между которыми указанная вероятность принимает значения от 0 до 1. Значения традиционной расчетной пропускной способности обычно соответствуют среднему значению. Таким образом, если поддерживать поток в состоянии близком к пропускной способности в ее традиционном понимании, как максимальной интенсивности потока, существует большая вероятность спонтанного образования затора и падения фактической пропускной способности. В этой связи представляется целесообразным в качестве критерия критической загрузки использовать максимальное значение показателя «энергии» транспортного потока, который достигается при уровне загрузки 0,85-0,9 [10-13]. Данный показатель представляет собой произведение интенсивности потока и его скорости, что прямо отражает основные задачи транспортировки: перемещать как можно больше (интенсивность) и как можно быстрее (скорость).

Тем не менее оптимизация показателей эффективности потока на отдельных участках не гарантирует оптимальной работы сети в целом. Необходимо учитывать механизмы возникновения задержек, проявляющиеся только при взаимодействии потоков в сети.

Подход «сдерживания» потоков на сетевом уровне получил развитие после введения концепции Макроскопической Сетевой Фундаментальной Диаграммы (МСФД), которая отражает производительность сети в зависимости от числа находящихся в ней автомобилей по аналогии с фундаментальной диаграммой транспортного потока на участке дороги. В одной из основополагающих работ на эту тему К. Даганзо предложил использовать агрегированный подход к управлению потоками на сети исходя из таких предпосылок как: высокая сложность адекватной оценки динамической матрицы корреспонденций, слабая предсказуемость индивидуального поведения водителей и поведения сети в перегруженном состоянии [14]. С момента появления указанной статьи тематика управления потоками на УДС на основе МСФД получила значительное развитие в научной литературе. Можно сказать, что на сегодняшний день такой подход является вершиной развития традиционных технологий управления транспортными потоками (когда управляющее воздействие передается на поток в целом). Развитие технологий кооперативных ИТС и, в частности, распространение подключенных автомобилей позволяет рассчитывать на устранение первой предпосылки, а развитие технологий автоматизации управления автомобилем может устранить остальные. Таким образом, открываются перспективы перехода к более дезагрегированному подходу вплоть до уровня отдельного автомобиля.

Для установления механизмов возникновения задержек при взаимодействии потоков в сети проанализируем все элементы дорожных сетей и возможные способы их взаимодействия. Любая сеть состоит из двух типов элементов: узлов и связей между ними. В дорожных

сетях существует три основных типа связей (участков дорог): приоритетные (главная дорога), второстепенные (уступающие дорогу) и регулируемые. Приоритетные участки можно разделить на неограниченные (например, участки главной дороги или автомагистрали) и участки с «узкими местами» (т. е. со снижением числа полос движения или последующим участком с более низкой скоростью или поворотом).

Возможные потери эффективности движения (задержки) непосредственно на участке дороги в основном связаны с количеством транспортных средств, одновременно находящихся на этом участке, то есть с плотностью потока. В теории транспортных потоков разработано большое количество различных математических моделей, призванных описать связь плотности и времени движения по участку. В соответствии с разными моделями мы можем получить разные условия, соответствующие оптимальной производительности участка. Однако, абстрагируясь от каких-либо функциональных зависимостей, очевидным и общим условием для оптимальной работы любого участка дороги является то, что входящий поток не должен быть выше исходящего, поскольку в противном случае будет образовываться очередь. Это подтверждается в исследовании [15], где доказано, что оптимальное распределение потоков по времени соответствует ситуации, когда в сети нет очередей. Таким образом, первой и очевидной причиной потери эффективности является перегрузка участка, т.е. любая ситуация, когда появляется очередь на нерегулируемом участке, либо очередь не разгружается за время действия разрешающего сигнала на регулируемом участке.

В случае, когда участок имеет более одной полосы, появляются другие причины потери эффективности. Они связаны с перестроениями и различиями в желаемой скорости водителей или конструктивной скорости транспортных средств. Любая смена полосы движения подразумевает, что на целевой полосе имеется достаточный разрыв в потоке, т. е. поток менее эффективен, чем мог бы быть. Смена полосы движения вызвана в основном двумя причинами: занять правильную полосу для следующего маневра или обогнать более медленный автомобиль, чтобы достичь желаемой скорости. Если скорость транспортных средств неоднородна, может возникнуть ситуация, когда низкоскоростные транспортные средства ограничивают движение других транспортных средств, в то время как они могут быть направлены на определенные полосы для повышения общей производительности участка. Однако при повышении загрузки транспортные средства начинают двигаться медленнее не из-за желаемой скорости, а вследствие закономерностей движения потока, но некоторые водители все еще пытаются обогнать других, что еще больше ухудшает условия движения. В целом, этот аспект механизма возникновения потерь времени связан с тем, какую часть дорожного пространства занимает конкретный автомобиль в движении (динамический габарит) и какое влияние он оказывает на действия других водителей. Агрессивная смена полос движения, резкое ускорение/замедление создают промежутки в потоке. Резкий обгон и въезд на загруженную полосу могут вызвать ударные волны и остановку потока. Подобные маневры являются аналогом эгоизма в выборе маршрута, что также приводит к общей потере эффективности. Таким образом, дополнительными источниками неэффективности движения на участке дороги являются манера вождения и необходимость смены полосы движения для следующего поворота, согласно выбранному маршруту.

Когда мы начинаем рассматривать участки сети появляются новые причины потери эффективности. Узлы дорожной сети можно разделить на три основные группы: нерегулируемые пересечения, регулируемые пересечения и участки слияния/разветвления, более сложные узлы представляют собой различные комбинации этих трех. Конфигурация узла и структура спроса определяют пропускную способность подходов, из которых формируется узел. Хорошо известная причина потери эффективности на сетевом уровне – это длинные очереди, которые блокируют некоторые направления на предыдущих узлах. Очереди на регулируемых перекрестках считаются допустимыми, если они разгружаются во время следующего разрешающего сигнала, однако они также могут блокировать некоторые примыкания, например, выезды с прилегающей территории. Чтобы избежать этих потерь требуется де-

тальная индивидуальная координация траекторий движения, что возможно только при переходе на персонализированное управление.

Другая причина менее очевидна и появляется, когда поток по участку с меньшей пропускной способностью может ограничить поток по участку с более высокой пропускной способностью. Например, при наличии затруднений для проезда перекрестка может стать более привлекательным маршрут с выездом на пересекаемую дорогу, что создаст конкуренцию и как-бы «запирает» движение по основной дороге. В практике организации дорожного движения на нерегулируемых перекрестках такая ситуация предотвращается, поскольку дорога с более высокой пропускной способностью обычно имеет приоритет над дорогой с меньшей пропускной способностью. Но это легко может произойти на кольцевых развязках, которые очень популярны во многих странах. Если поток от подхода с низкой пропускной способностью выезжает на кольцо раньше, чем с подхода с высокой пропускной способностью, последний должен уступить дорогу первому, увеличивая суммарную задержку. Это явление также может возникнуть на регулируемых перекрестках, если сигналы светофора работают в адаптивном режиме на локальном уровне, не учитывая аспект маршрутизации и предоставляя больше времени для подхода с низкой пропускной способностью.

Еще одна причина возникновения задержек – это конкуренция при слиянии потоков. Такая ситуация возникает, когда потоки с двух участков сливаются в один с меньшей суммарной пропускной способностью [16]. В этой ситуации также возможно снижение общего времени движения при директивном упорядочении сливающихся потоков.

С развитием систем связи становится возможным осуществление динамического регулирования доступа к перегруженным участкам в масштабе всей сети. Такой подход характерен для многих областей, например, железнодорожного транспорта и авиации, где очерёдность проезда участков и прибытия четко регламентируются и обязательны к исполнению.

Ключевой проблемой при переходе к полному контролю над распределением потоков по УДС является известная степень независимости и свободы действий водителей. При этом при полном переходе на ВАПТС представляется целесообразным исключить негативное влияние эгоистичных действий на эффективность системы. Действительно, было бы странным, если высокотехнологичные роботы, призванные улучшить ситуацию на дорогах, продолжали бы эгоистично и непродуктивно конкурировать друг с другом за ограниченный ресурс пропускной способности дорожной сети. Необходимость в координированном управлении потоками ВАПТС, в том числе с регулированием доступа, отмечается и в зарубежной литературе [17].

Еще одной особенностью, которую необходимо учитывать при анализе перспектив повышения эффективности использования УДС с появлением ВАПТС является феномен «скрытого спроса» (latent demand). Наблюдаемые пассажирские и транспортные потоки в транспортной системе являются результатом многоуровневого набора решений ее пользователей и отражают устоявшийся баланс спроса и предложения. При увеличении пропускной способности какого-либо элемента он неизбежно перетягивает на себя дополнительный спрос не только с других элементов, видов транспорта, периодов времени, но и стимулирует пользователей совершать новые поездки. Таким образом, улучшения могут быть быстро нивелированы дополнительной нагрузкой.

### **Результаты**

В результате критического анализа источников неэффективности в процессе движения транспортных потоков по УДС можно сформировать следующий список причин.

1. Входящий поток превышает пропускную способность участка (наличие очередей).
2. Потоки по участкам с высокой пропускной способностью подвергаются ограничениям со стороны потоков по участкам с меньшей пропускной способностью.
3. Конкуренция при слиянии потоков.
4. Схема маршрутизации, которая приводит к интенсивным перестроениям на участке дороги (переплетение потоков).
5. Эгоизм при вождении (низкоскоростной транспорт, выбирающий любую полосу

движения, резкое маневрирование, эгоистичный обгон и т. д.).

Проведенный анализ дает основания полагать, что этот список является исчерпывающим и иные причины для снижения эффективности дорожных сетей отсутствуют. Действительно, если при заданном спросе каждый участок сети работает с нагрузкой, меньшей или равной пропускной способности, подходы с более высокой пропускной способностью на перекрестках способны полностью реализовать свой потенциал, каждому транспортному средству назначается маршрут с текущим кратчайшим временем поездки, а поведение вождения оптимизировано, то нельзя изменить пространственно-временную траекторию ни одного транспортного средства так, чтобы снизить суммарное время движения для всей сети.

Как показывают результаты многих исследований в области системно-оптимального распределения потоков, существует значительный потенциал повышения эффективности использования ресурса пропускной способности УДС при переходе к директивному управлению пространственно-временными траекториями транспортных средств. Величина возможного эффекта в виде снижения суммарного времени движения зависит от конфигурации сети, характера нагрузки и ее продолжительности и может достигать 200-250 % и более.

Таким образом, из проведенного анализа принципов формирования транспортного спроса и загрузки дорожной сети можно сделать вывод, что если мы имеем дело с регулярными заторами на УДС города, то это означает:

- мы не можем значительно улучшить ситуацию путем распределения потоков по маршрутам;
- сеть функционирует со сниженной пропускной способностью из-за перегрузки;
- традиционными методами управления невозможно достичь использования всего потенциала пропускной способности;
- существует латентный спрос и улучшения вследствие повышения пропускной способности будут нивелироваться привлечением новых поездок.

Мы еще раз акцентируем внимание на известном факте, что проблема транспортных заторов нерешаема традиционными методами организации и управления дорожным движением. Также, по всей видимости, потенциала повышения пропускной способности только с помощью автоматизации вождения будет недостаточно для решения проблемы заторов. При этом основная доля эффекта повышения пропускной способности от автоматизации вождения на перекрестках достигается только когда более 90 % автомобилей в потоке автоматизированы [18], что ожидается в весьма отдаленной перспективе.

Из изложенного следует, что для достижения максимально эффективного использования потенциала пропускной способности УДС (системно-оптимального распределения) необходимо переходить на принципы координированного управления пространственно-временными траекториями отдельных транспортных средств. При этом такой переход не может произойти одномоментно и без целенаправленных, системных действий со стороны правительства, он должен быть постепенным и тщательно продуманным.

### **Обсуждение**

Расширение возможностей кооперации в процессе движения и дифференциация управляющих воздействий позволяют перейти к новым более эффективным методам организации и управления дорожным движением. Задача управления движением должна состоять в непрерывном формировании таких потоков, которые могут быть обслужены существующей сетью с максимальной эффективностью, а не в попытках распределить стихийно формирующиеся потоки.

Также в инфокоммуникационных сетях существует различные способы управления очередями при перегрузках, а также понятие формирования потоков данных (traffic shaping), когда маршрутизатор задерживает избыточные пакеты в очереди, а затем планирует последующую передачу этих пакетов через определенные узлы и промежутки времени. Аналогичный подход для УДС предложен одним из авторов ранее [19, 20], где был обозначен понятием «управление формированием транспортных потоков».

В первоначальном смысле данный подход предполагал регулирование доступа к УДС и оптимальное распределение потоков по маршрутам, не допуская образования заторов. В целях дальнейшего развития и практического применения понятием «управление формированием транспортных потоков» предлагается охватить все существующие и новые подходы и методы, направленных на активное формирование желаемых характеристик транспортных потоков и определить его как «совокупность индивидуальных и общих (групповых) управляющих воздействий на водителей транспортных средств и автоматизированные системы вождения, направленных на установление и поддержание очередности и параметров движения отдельных транспортных средств и их групп в целях минимизации издержек, возникающих при конкурентном использовании дорожной сети».

К таким воздействиям относятся:

- регулирование доступа к определенным участкам улично-дорожной сети средствами светофорного регулирования;
- формирование «электронных очередей» для упорядочения доступа к перегруженным участкам сети дорог (для подключенных транспортных средств);
- рекомендация и (или) предписание маршрута движения;
- повышение равномерности движения потока посредством «внутренних агентов» в потоке;
- формирование групп для безостановочного проезда регулируемых перекрестков;
- рекомендация и (или) предписание скорости движения;
- рекомендация и (или) предписание по распределению транспортных средств по полосам движения;
- координация траекторий транспортных средств при движении, маневрировании и проезде зон конфликта;
- направление на заранее забронированное парковочное место;
- гибкая приоритизация участников дорожного движения мерами регулирования и монетарными мерами, а не путем физического выделения инфраструктуры.

Принцип комбинированного управления группой частично независимых агентов, когда в разных сочетаниях применяются и директивные и косвенные управляющие воздействия, в области информационных технологий получил название «оркестрация». Кроме того, для описания условий и принципов взаимодействия независимых агентов применяется термин «хореография» (то есть «хореограф» сам не регулирует действия агентов, а создает для них «сцену», алгоритмы взаимодействия и границы возможных действий). Применение таких подходов к транспортным системам уже исследуется в литературе [21] и представляется весьма перспективным при переходе на ВАПТС.

Для реализации указанных механизмов регулирования и взаимодействия необходимо проведение системной работы по пересмотру институциональных основ и нормативно-правового регулирования в области организации и обеспечения безопасности дорожного движения.

### **Выходы**

Существует значительный потенциал повышения эффективности использования ресурса пропускной способности УДС при переходе к директивному управлению пространственно-временными траекториями транспортных средств.

В предельном состоянии, когда потоки состоят только из ВАПТС, с точки зрения управления дорожная сеть будет в большей степени похожа на инфокоммуникационную сеть, чем на транспортную в современном ее понимании. Ключевыми отличиями будет то, что «пакеты данных», то есть транспортные средства, не могут «потеряться» и быть отправлены заново, а также то, что они могут корректировать маршрут и скорость движения в любой момент времени в процессе движения. Традиционные подходы, глубоко завязанные на учете физиологии человека-водителя, теряют свою актуальность при полном переходе на ВАПТС, однако остаются актуальными на переходный период. Вместе с тем возможности современных технологий могут в значительной степени нивелировать физиологические

ограничения человека-водителя и представляется целесообразным строить архитектуру системы управления на переходный период основываясь сразу на новых принципах, гибко адаптируя опыт построения информационных систем, а также принципы управления движением в авиатранспорте.

Таким образом, предложенный подход «управления формированием транспортных потоков» основан на системном понимании механизмов работы УДС, позволяет значительно повысить эффективность использования пропускной способности сети и приблизиться к теоретическому системно-оптимальному распределению потоков на практике. При этом значительная часть выгод может быть получена до полного перехода на автоматизированное управление. Система управления формированием транспортных потоков может быть адаптирована для работы со смешанными потоками различных пропорций, а также настроена таким образом, чтобы способствовать быстрому и плавному переходу на автоматизированное управление. Ключевые требования – это наличие систем связи и возможность регулировать время выезда и предписывать маршрут движения водителям. При всей сложности практической реализации такой системы, мы убеждены, что современный уровень развития технологий связи, автоматизации управления, искусственного интеллекта, а также технологии блокчейн в обеспечении прозрачности регулирования доступа уже позволяют внедрить такой тип управления. Проработка деталей и особенностей организации работы предлагаемой системы является предметом дальнейших исследований.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wardrop J.G. Some theoretical aspects of road traffic research // Proceedings of the Institute of Civil Engineers. Pt. II. Vol. 1. 1952. P. 325-378.
2. Vickrey W.S. Congestion theory and transport investment // American Economic Review №59. 1969. P. 251-260,
3. Belov A. et al. A microsimulation based analysis of the price of anarchy in traffic routing: The enhanced Braess network case [Электронный ресурс] / Journal of Intelligent Transportation Systems. №26(4). 2021. P. 448-460. URL: <https://doi.org/10.1080/15472450.2021.1904920>.
4. Zhang J., Pourazarm S., Cassandras C.G., Paschalidis I.Ch. The Price of Anarchy in Transportation Networks. Data-Driven Evaluation and Reduction Strategies // Proceedings of the IEEE. 2018. Vol. 106. №4. P. 538-553.
5. Белов А.В. Исследования условий возникновения парадокса Браесса в транспортных сетях. Наука – образованию, производству, экономике // Сборник матер. 9-й междунар. научно-технич. конф. Минск: Белорусский национальный технический университет. В 4 т. Т. 3. 2011. С. 141-142.
6. Geroliminis N., Haddad J., Ramezani M. Optimal perimeter control for two urban regions with macroscopic fundamental diagrams: a model predictive approach. Intell // Transport. Syst. IEEE Trans. 2013. №14(1). P. 348-359.
7. Feifei Xu et al. Traffic State Evaluation based on Macroscopic Fundamental Diagram of Urban Road Network // Procedia - Social and Behavioral Sciences. 2013. Vol. 96. 480-489.
8. Галкин А.В., Сысоев А.С., Бондарь Н.С. Автоматизированная система управления транспортными потоками // Математические методы в технологиях и технике. 2022. №7. С. 11-15. doi 10.52348/2712-8873\_mmtt\_2022\_7\_11.
9. Kerner B.S. Failure of classical traffic flow theories: Stochastic highway capacity and automatic driving // Physica A 450. 2016. P. 700-747.
10. Гук В.И. Развитие теории транспортного потока для городских условий дорожного движения: дис. ... д-ра тех. наук. Москва, 1988. 247 с.
11. Zahavi Y. Traffic performance evaluation of road networks by the  $\lambda$ -relationship. Parts I and II // Traffic Engineering and Control. 1972. №14(5 and 6). P. 228-231, 292-293.
12. Рэнкин В.У., Клафи П., Халберт С. и др. Автомобильные перевозки и организация дорожного движения: Справочник. Пер. с англ. М.: Транспорт, 1981. 592 с.
13. Brilon W. Traffic Flow Analysis beyond Traditional Methods. Proceedings of the 4th International Symposium on Highway Capacity // Transportation Research Board, Washington D.C. 2000. P. 26-41.
14. Daganzo C.F. Urban gridlock: macroscopic modelling and mitigation approaches // Transportation Research Part B: Methodological. 2007. Vol. 41. №1. P. 49-62.
15. Heydecker B.G., Addison J.D. Analysis of Dynamic Traffic Equilibrium with Departure Time Choice // Transportation Science. №39. 2005. doi:10.1287/trsc.1030.0075.
16. Lago A., Daganzo C.F. Spillovers, merging traffic and the morning commute. Transportation Research Part B: Methodological. 2007. Vol. 41. P. 670-683. doi:10.1016/j.trb.2006.10.002.

17. Alonso Raposo M., Ciuffo B., Makridis M., Thiel C. The r-evolution of driving: from Connected Vehicles to Coordinated Automated Road Transport (C-ART). Part I: Framework for a safe & efficient Coordinated Automated Road Transport (C-ART) system. doi:10.2760/225671.
18. Dresner K., Stone P. A Multiagent Approach to Autonomous Intersection Management. Journal of Artificial Intelligence Research. 2008. №31. P. 591-656.
19. Белов А.В. Повышение эффективности использования улично-дорожных сетей на основе управления формированием транспортных потоков: диссертация ... кандидата технических наук: 05.22.01. Москва, 2014. 134 с.
20. Белов А.В. Проблемы организации и управления дорожным движением при появлении беспилотных автомобилей // Научный Интернет-журнал «Техника и технология транспорта». №1(1). 2016.
21. Autili M., Chen L., Englund C., Pompilio C., Tivoli M. Cooperative Intelligent Transport Systems: Chorography-Based Urban Traffic Coordination // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2021. Vol. 22. №4. P. 2088-2099. doi: 10.1109/TITS.2021.3059394.

**Белов Александр Владимирович**

ГБУ «МосТрансПроект»

Адрес: 101000, Россия, г. Москва, Потаповский пер., д. 3, стр. 1

К.т.н., заместитель начальника управления исследований и разработки

E-mail: belov\_trans@mail.ru

**Бутенко Юрий Валентинович**

ГБУ «МосТрансПроект»

Адрес: 101000, Россия, г. Москва, Потаповский пер., д. 3, стр. 1

Директор по технологическому развитию

E-mail: ButenkoYV@mtp.mos.ru

---

A.V. BELOV, Y.V. BUTENKO

## **ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF ACHIEVING SYSTEM-OPTIMAL TRAFFIC ASSIGNMENT WITH THE EMERGENCE OF CONNECTED AND HIGHLY AUTOMATED VEHICLES**

**Abstract.** The article considers the prospects and obstacles on the way of improving the efficiency of urban street and road networks operations, opened with the development of automated driving technologies and cooperative intelligent transportation systems (connected cars, V2X systems). The results of the analysis of the causes of delays on the road networks, the possibilities of their elimination by direct distribution of traffic flows are given, and a systemic view on the solution of the system-optimal traffic assignment problem in real networks is offered.

**Keywords:** highly automated vehicles, system-optimal traffic assignment, traffic control, V2X

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Wardrop J.G. Some theoretical aspects of road traffic research // Proceedings of the Institute of Civil Engineers. Pt. II. Vol. 1. 1952. P. 325-378.
2. Vickrey W.S. Congestion theory and transport investment // American Economic Review №59. 1969. P. 251-260,
3. Belov A. et al. A microsimulation based analysis of the price of anarchy in traffic routing: The enhanced Braess network case [Elektronnyy resurs] / Journal of Intelligent Transportation Systems. №26(4). 2021. P. 448-460. URL: <https://doi.org/10.1080/15472450.2021.1904920>.
4. Zhang J., Pourazarm S., Cassandras C.G., Paschalidis I.Ch. The Price of Anarchy in Transportation Networks. Data-Driven Evaluation and Reduction Strategies // Proceedings of the IEEE. 2018. Vol. 106. №4. P. 538-553.
5. Belov A.V. Issledovaniya usloviy vozniknoveniya paradoksa Braessa v transportnykh setyakh. Nauka - obrazovaniyu, proizvodstvu, ekonomike // Sbornik mater. 9-y mezhdunar. nauchno-tehnich. konf. Minsk: Belorusskiy natsional'nyy tekhnicheskiy universitet. V 4 t. T. 3. 2011. S. 141-142.
6. Geroliminis N., Haddad J., Ramezani M. Optimal perimeter control for two urban regions with macroscopic fundamental diagrams: a model predictive approach. Intell // Transport. Syst. IEEE Trans. 2013. №14(1). R. 348-359.
7. Feifei Xu et al. Traffic State Evaluation based on Macroscopic Fundamental Diagram of Urban Road Network // Procedia - Social and Behavioral Sciences. 2013. Vol. 96. 480-489.
8. Galkin A.V., Sysoev A.S., Bondar' N.S. Avtomatizirovannaya sistema upravleniya transportnymi potokami

- // Matematicheskie metody v tekhnologiyakh i tekhnike. 2022. №7. S. 11-15. doi 10.52348/2712-8873\_mmtt\_2022\_7\_11.
9. Kerner B.S. Failure of classical traffic flow theories: Stochastic highway capacity and automatic driving // Physica A 450. 2016. R. 700-747.
10. Guk V.I. Razvitiye teorii transportnogo potoka dlya gorodskikh usloviy dorozhnogo dvizheniya: dis. ... d-ra tekhn. nauk. Moskva, 1988. 247 s.
11. Zahavi Y. Traffic performance evaluation of road networks by the  $\beta$ -relationship. Parts I and II // Traffic Engineering and Control. 1972. №14(5 and 6). R. 228-231, 292-293.
12. Renkin V.U., Klafi P., Halbert S. i dr. Avtomobil'nye perevozki i organizatsiya dorozhnogo dvizheniya: Spravochnik. Per. s angl. M.: Transport, 1981. 592 s.
13. Brilon W. Traffic Flow Analysis beyond Traditional Methods. Proceedings of the 4th International Symposium on Highway Capacity // Transportation Research Board, Washington D.C. 2000. R. 26-41.
14. Daganzo C.F. Urban gridlock: macroscopic modelling and mitigation approaches // Transportation Research Part B: Methodological. 2007. Vol. 41. №1. R. 49-62.
15. Heydecker B.G., Addison J.D. Analysis of Dynamic Traffic Equilibrium with Departure Time Choice // Transportation Science. №39. 2005. doi:10.1287/trsc.1030.0075.
16. Lago A., Daganzo C.F. Spillovers, merging traffic and the morning commute. Transportation Research Part B: Methodological. 2007. Vol. 41. R. 670-683. doi:10.1016/j.trb.2006.10.002.
17. Alonso Raposo M., Ciuffo B., Makridis M., Thiel C. The r-evolution of driving: from Connected Vehicles to Coordinated Automated Road Transport (C-ART). Part I: Framework for a safe & efficient Coordinated Automated Road Transport (C-ART) system. doi:10.2760/225671.
18. Dresner K., Stone P. A Multiagent Approach to Autonomous Intersection Management. Journal of Artificial Intelligence Research. 2008. №31. R. 591-656.
19. Belov A.V. Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya ulichno-dorozhnykh setey na osnove upravleniya formirovaniem transportnykh potokov: dissertatsiya ... kandidata tekhnicheskikh nauk: 05.22.01. Moskva, 2014. 134 s.
20. Belov A.V. Problemy organizatsii i upravleniya dorozhnym dvizheniem pri poyavlenii bespilot-nykh avtomobiley // Nauchnyy Internet-zhurnal "Tekhnika i tekhnologiya transporta". №1(1). 2016.
21. Autili M., Chen L., Englund C., Pompilio C., Tivoli M. Cooperative Intelligent Transport Systems: Choreography-Based Urban Traffic Coordination // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2021. Vol. 22. №4. R. 2088-2099. doi: 10.1109/TITS.2021.3059394.

**Belov Aleksandr Vladimirovich**

State Budgetary Institution «MosTransProject»

Address: 101000, Russia, Moscow, Potapovsky per., p. 3, str. 1

Candidate of Technical Sciences

E-mail: belov\_trans@mail.ru

**Butenko Yury Valentinovich**

State Budgetary Institution «MosTransProject»

Address: 101000, Russia, Moscow, Potapovsky per., p. 3, str. 1

Director for Technological Development

E-mail: ButenkoYV@mtp.mos.ru

А.Ф. ЗАЛЮБОВСКИЙ, Р.Р. САФИУЛЛИН, В.А.ЕФРЕМОВА

## СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

**Аннотация.** На основании структурного анализа была уточнена классификация транспортных систем горно-обогатительных предприятий по показателям их функциональных свойств с учетом интеграции элементов интеллектуальных транспортных систем. Предложен подход к созданию системы удаленного диагностирования состояния транспортных средств и использования инфраструктурных объектов, позволяющий на основе показаний мониторинга корректировать периодичность и объем проведения их технического обслуживания и ремонта для обеспечения эксплуатационной надежности и безопасности.

**Ключевые слова:** транспортная система, классификация, горный транспорт, диагностирование, надежность

### ***Введение***

Увеличение производительности горных предприятий напрямую связано с совершенствованием транспортной системы отрасли. Ежегодные объемы перевозок горной породы только автомобильным транспортом превышают 500 млн.м<sup>3</sup> [1].

Структурный анализ транспортной системы горной отрасли показал, что реализация возможностей искусственного интеллекта позволит повысить скорость, точность и надежность транспортных операций [2]. Поэтому, были определены основные направления совершенствования транспортной системы в горно-обогатительной отрасли в области интеллектуализации включающие инфраструктуру и оборудование транспортных сетей, транспортно-логистические комплексы и отдельные средства горного транспорта [3]. Особенности транспортной системы горнодобывающих предприятий, заключающиеся в использовании дорог необщего пользования и специализированного транспорта, являются несомненным преимуществом для внедрения беспилотного транспорта [4].

В связи с появлением технических устройств и образцов техники, обладающих признаками искусственного интеллекта, а также возможностей по организации их взаимодействия, в транспортной отрасли появилась новая терминология, возникли новые проблемные вопросы использования транспортных систем. С точки зрения методологии назрела необходимость структурирования и уточнения классификации промышленных транспортных систем с учетом новых структурных и функциональных признаков.

### ***Материал и методы***

В научных публикациях встречается несколько вариантов определения термина «транспортная система». Кроме того, некоторые авторы предлагали использовать другие термины, например «система транспорта», «транспортно-технологическая система» и др. [5]. Следовательно, необходимо уточнение классификации транспортных систем с учетом новых структурных и функциональных признаков.

В общем виде транспортной системой принято считать совокупность транспортной инфраструктуры, транспортных предприятий, транспортных средств и управления [5]. Классификация транспортных систем, основанная на классификации перевозок, не в полной мере отражает свойства и признаки транспортных систем, включающих в себя дороги и инфраструктурные объекты, такие как логистические центры, склады, диспетчерские пункты, информационные объекты, заправочные пункты и др., входящие в единую интеллектуальную транспортную систему.

В существующем подходе классификация промышленной транспортной системы основывается на различиях по видам транспорта, хотя она обладает набором большого количества свойств, присущих всей транспортной системе и является ее подсистемой, включающей, кроме специализированного транспорта, свою дорожную сеть необщего пользования, обеспечивающую инфраструктуру и подсистему управления движением.

К структурным показателям производственной транспортной системы можно отнести: состав, организацию, связность, сложность, масштабность, централизованность. К функциональным свойствам можно отнести: производительность, экономичность, оперативность, точность, быстродействие, мобильность.

Структурой промышленной транспортной системы горной отрасли является устойчивая совокупность ее функциональных элементов, способная обеспечить функционирование всех горно-обогатительных предприятий.

Горно-обогатительные предприятия обладают сложной транспортной системой с большими входящими и исходящими потоками, включающей в себя различные виды транспорта. Каждый вид транспорта имеет свое предназначение и области применения в транспортной системе горно-обогатительного предприятия. Учитывая объемы перевозимых грузов и интенсивность транспортных потоков, становится очевидным значение применения возможностей искусственного интеллекта для организации взаимодействия между всеми участниками транспортного процесса.

Обобщение и анализ накопленной информации позволил предложить в качестве основы классификации промышленных транспортных систем использовать структурные и функциональные свойства, как наиболее полно отражающие особенности системы. Некоторые из предлагаемых признаков классификации транспортных систем не требуют подробного пояснения, так как основываются на общепринятых подходах, например, по составу транспортных средств, масштабу, централизованности. В свою очередь некоторые новые признаки требуют пояснения. Так, сложность транспортных систем предлагается определять по уровню их автоматизации и оснащенности. Высшему уровню автоматизации соответствуют интеллектуальные транспортные системы, соответственно они наиболее сложные по оснащенности транспортными средствами и системами управления. Кроме того, в настоящее время используются и более простые по уровню технической оснащенности транспортные системы, использующие средства автоматизации определенных работ (автоматизированные) и без них (обычные).

Для оценки комфорта условий труда и стимулирования предприятий горной промышленности к снижению вредных выбросов предложено ввести в классификацию характеристику экологичности транспортных систем. Системы, соответствующие требованиям стандартов и нормативной документации по количеству вредных выбросов и способам утилизации отходов, предложено считать экологичными, не соответствующие вышеуказанным требованиям – неэкологичности. Оцениваются все элементы системы, при этом, для неэкологичных систем может быть использована отдельная градация по уровням выбросов для мониторинга их развития в этом направлении. По связности предлагается учитывать степень интеграции транспортных систем в единую транспортную систему отрасли: локальные или интегрированные, при этом степень интеграции можно определять отдельно.

Предложенная классификация промышленных транспортных систем изображена на рисунке 1. В предложенной классификации транспортных систем отличительной новизной является подход, основанный на анализе структурных и функциональных свойств, а также учет и систематизация последних достижений в области горного транспорта, в том числе в области внедрения искусственного интеллекта на транспорте и транспортной инфраструктуре.

Транспортная система горно-обогатительного производства относится к классу промышленных подсистем и имеет ряд своих особенностей. В последние годы были разработаны беспилотные транспортные средства для горной промышленности [6].



*Рисунок 1 - Классификация промышленных транспортных систем по структурным и функциональным свойствам (составлено автором)*

В этой связи особую значимость приобретает вопрос удаленного мониторинга состояния элементов транспортной системы горно-обогатительного производства для обеспечения ее надежности и безопасности. От надежности каждого элемента системы зависит ее слаженное функционирование, поэтому разработка устройств и способов обеспечения надежности безопасности транспортных систем осуществляется методом декомпозиции. Значительных успехов, ввиду структурных особенностей достигли в диагностировании трубопроводных транспортных систем. Применение современных алгоритмов и интеллектуальных систем мониторинга состояния трубопроводов позволило повысить безопасность эксплуатации всей транспортной системы нефте- и газодобывающих предприятий. Обоснованы предложения и подходы, а также концепция управления безопасностью предприятий путем создания российской технологии интеллектуального мониторинга состояния систем транспортировки нефти и газа, основанная на комплексном подходе к оценке технического состояния интегрированными автоматизированными устройствами [7].

### **Теория / Расчет**

Обеспечение надежности и безопасности автомобильных транспортных систем является более сложной задачей ввиду, большого количества типов и марок техники и различия в дорожных и климатических условиях даже при структурной идентичности систем.

Транспортные системы включают в себя ряд независимых подсистем, поэтому для

определения надежности системы в целом необходимо учитывать безотказность каждого элемента [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. В таком случае безотказность системы  $N(t)$ , состоящей из  $k$  элементов описывает функция надёжности, представляющая собой вероятность безотказной работы каждого элемента  $n_k(t)$  в течение некоторого времени.

$$N(t) = n_1(t)n_2(t)\dots n_k(t). \quad (1)$$

В свою очередь каждый элемент транспортной системы является подсистемой, надежность которой характеризуется экспоненциальным распределением с постоянными интенсивностями отказов, тогда функция надёжности системы будет иметь вид:

$$N(t) = \exp[-(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_k)t] = \exp\left[-\sum_{i=1}^{\infty} \lambda_i t\right]. \quad (2)$$

Для определения надёжности элементов, вступающих в работу периодически в произвольный момент времени, необходимо учитывать коэффициент оперативной готовности, характеризующий способность системы работать безотказно в течение заданного времени. Таким подсистемам относятся все устройства, включающие в себя датчики контроля и регистрации в момент прохождения автомобилем определенных участков, например взвешивания, оплаты проезда, контроля скорости. Значение коэффициента оперативной готовности определяется выражением:

$$K_0 = K_r P(t) = P(t)T_c / (T_c + T_\theta). \quad (3)$$

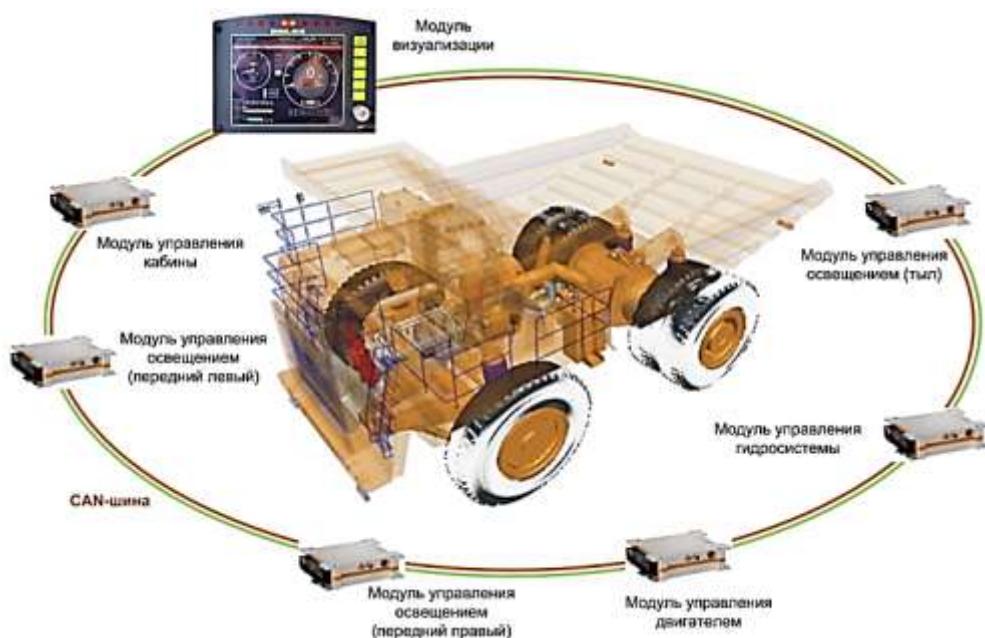
Наиболее перспективным подходом к обеспечению надежности и безопасности автомобильных транспортных систем является применение беспилотного транспорта и внедрение искусственного интеллекта в систему управления инфраструктурой.

Внезапно возникшая неисправность беспилотного транспортного средства, может привести к серьезным последствиям вплоть до остановки технологического процесса, поэтому беспилотные транспортные средства максимально оснащены датчиками контроля эксплуатационных параметров и автоматической корректировки или блокировки управляющего воздействия. [8] Имеющиеся в базовой комплектации беспилотных транспортных средств устройства позволяют определять скорость и местоположение транспортного средства, но не менее важное значение при мониторинге состояния беспилотных транспортных средств имеет постоянный контроль параметров, характеризующих эксплуатационную надежность: уровень заправки топливом, уровень и температура охлаждающей жидкости, уровень и состояние масла в основных агрегатах, состояние тормозной и рулевой систем и др. [9].

Обобщенно структура многофункциональной системы диагностики и контроля автосамосвала БелАЗ представлена на рисунке 2. Современные диагностические системы осуществляют передачу видеоизображения, а также диагностические и технологические параметры работы техники в диспетчерскую, где специалисты горного предприятия могут по результатам анализа данных дистанционно изменять режимы работы бортовых систем. Поступающая информация полезна не только техническим специалистам для планирования объема обслуживания, но и горным инженерам для прогнозирования объемов работ с учетом транспортных возможностей предприятия. В связи с этим, расширение функционала бортовых систем диагностики техники и повышение их надежности становится основой создания интеллектуальных транспортных систем горных предприятий [10].

Воздействие различных дорожных факторов и природно-климатических условий внешней среды также может оказывать негативное влияние на техническое состояние транспортного средства и создавать угрозу безопасности всех участников транспортного процесса и повреждения инфраструктуры, поэтому в некоторых случаях целесообразно применять датчики контроля этих факторов [11]. Уже довольно широкое распространение получили датчики освещенности, управляющие светом фар, и датчики дождя, управляющие щетками стеклоочистителя и стеклоомывателем, а также датчики внутреннего климатконтроля, управляющие температурой в салоне. Но нельзя недооценивать негативное воздействие коррозионноактивных компонентов внешней среды в горно-обогатительной отрасли. Опыт эксплуатации различной техники, в том числе на горнодобывающих предприятиях в суровых природно-климатических и сложных горно-геологических условиях позволил установить, что в результате воздействия негативных факторов условий эксплуатации и природно-

климатических условий, несмотря на соответствующее климатическое исполнение техники, их выход в ремонт превышают нормативные показатели даже с учетом региональных понижающих коэффициентов [12]. Это влечет за собой дополнительную корректировку периодичности и объемов работ по обслуживанию и ремонту машин [13].



**Рисунок 2 - Структура модульной системы диагностики автосамосвала БелАЗ**

Для контроля за состоянием и оперативного управления периодичностью обслуживания целесообразно использовать также датчики коррозионного состояния поверхностей технических средств. Существующие неразрушающие методы определения состояния покрытий, ввиду своих особенностей, не позволяют проводить удаленный мониторинг коррозионного состояния техники, имеющей геометрически сложные поверхности с наличием углов и кромок. Единственным методом контроля коррозионного состояния поверхностей машин, применяемым в настоящее время, остается визуальное наблюдение при проведении периодического технического обслуживания или ремонта. Такой контроль сравнительно прост, однако, его применение не позволяет определить скрытые дефекты на начальном этапе.

Решение этой проблемы требует соответствующего ресурсного и материального обеспечения, к которому, в том числе, относятся средства удаленного диагностирования технического состояния транспортного средства [14]. Следовательно, задача разработки технологий и устройств сбора и передачи данных, характеризующих техническое состояние транспорта остается важной и актуальной.

### **Результаты и обсуждение**

Реализация нового подхода к классификации транспортных систем, основанного на системном подходе к анализу структурных и функциональных свойств, позволила систематизировать последние достижения в области транспорта, в том числе в области внедрения искусственного интеллекта на транспорте и транспортной инфраструктуре, и определить место транспортной системы горно-обогатительных комплексов в единой транспортной системе.

### **Выводы**

Каждое горно-обогатительное предприятие, ввиду особенностей имеет свою индивидуальную транспортную систему, однако можно выделить общие мероприятия, которые могут повысить надежность и эффективность функционирования всех транспортных систем отрасли:

- 1) особенности транспортной системы горно-обогатительных предприятий создают преимущества для реализации в отрасли интеллектуальных транспортных систем и использовании беспилотных транспортных средств;

- 2) плановая замена устаревших образцов техники современными беспилотными моделями, управляемыми с возможностью управления искусственным интеллектом.
- 3) применение более экологичных и безопасных транспортных систем (конвейеры, трубопроводы, электромашины);
- 4) применение техники с силовыми установками, использующими топливо с низкими параметрами загрязнения выхлопными газами;
- 5) оснащение транспортных средств датчиками контроля технического состояния и эксплуатационных показателей, включенными в единую систему обработки данных с помощью искусственного интеллекта позволит своевременно проводить работы по техническому обслуживанию и ремонту, обеспечив повышение надежности и безопасности всей транспортной системы горно-обогатительных комплексов.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Трейман М.Г. Копанская А.А. Анализ технико-экономических показателей транспортных систем горнообогатительных комплексов // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия Экономика и экологический менеджмент. №4. 2020. С. 17-28.
2. Блинкин М.Я., Кулакова А.А. Беспилотные автомобили: перспективы и ожидаемые последствия экспансии // Городские исследования и практики. 2023. №8(1). С. 32-45.
3. Сафиуллин Р.Н., Сафиуллин Р.Р. Концептуальные подходы рационального выбора состава бортовых информационно-управляющих систем при перевозке грузов // Транспорт: наука, техника, управление. №5. 2023. С. 45-52.
4. Дубинкин Д.М., Аксенов В.В., Пашков Д.А. Тенденции развития беспилотных карьерных самосвалов // Горные машины. 2023. С. 72-78.
5. Горяинов А.Н. Классификация систем транспорта с учетом диагностического подхода // Восточноевропейский журнал передовых технологий. Вып.1/3 (49). Харьков: Технологический центр. 2011. С. 4-10.
6. Дубинкин Д.М., Аксенов В.В., Пашков Д.А. Тенденции развития беспилотных карьерных самосвалов // Горные машины. 2023. С. 72-78.
7. Земенкова М.Ю., Чижевская Е.Л., Земенков Ю.Д. Интеллектуальный мониторинг состояний объектов трубопроводного транспорта углеводородов с применением нейросетевых технологий // Записки Горного института. 2022. Т. 258. С. 933-944. DOI: 10.31897/PMI.2022.105.
8. Сафиуллин Р.Н., Сафиуллин Р.Р., Ефремова В.А. Метод комплексной оценки бортовых информационно-управляющих систем на горных машинах // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2023. №9-1. С. 49-63.
9. Чичерин И.В., Федосенков Б.А., Сыркин И.С., Садовец В.Ю., Дубинкин Д.М. Концепция управления беспилотными транспортными средствами в условиях открытых горных работ // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2020. №8. С. 109-120.
10. Клебанов А.Ф., Сиземов Д.Н., Кадочников М.В. Комплексный подход к удаленному мониторингу технического состояния и режимов эксплуатации карьерного автосамосвала // Горная промышленность. 2020. №2. С. 75-81. DOI: 10.30686/1609-9192-2020-2-75-81.
11. Сафиуллин Р. Н., Обоснование структуры автоматизированной системы контроля технического состояния транспортного средства на основе матричного QR-кода // Технико-технологические проблемы сервиса, №2. Вып. 64. 2023. С 17-22 .
12. Кузин Е.Г., Пудов Е.Ю., Дубинкин Д.М. Анализ отказов узлов карьерных самосвалов в условиях эксплуатации // Горное оборудование и электромеханика. 2021. С. 55-61. DOI: 10.26730/1816-4528-2021-2-55-61.
13. Павлишин С.Г., Столовец М.В., Павлишина Б.С. Корректирование режимов технического обслуживания с целью учета региональных условий эксплуатации // Мир транспорта и технологических машин. 2020. №1(68). С. 25-33.
14. Цупкина М.В., Кирков А.Е., Клебанов Д.А., Радченко Д.Н. Обоснование необходимости улучшения стратегии управления функционированием горно-технической системы на основе анализа данных об отработке сложноструктурных блоков // Записки Горного института. 2024. EDN JOLUPJ.

### **Залиубовский Андрей Фадеевич**

Санкт-Петербургский Горный университет императрицы Екатерины II  
Адрес: 199106, Россия, г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия д.2.  
К.т.н., доцент кафедры «базовая научная компетенция»  
E-mail: Zalyubovskiy\_AF@pers.spmi.ru

### **Сафиуллин Руслан Равилович**

Санкт-Петербургский Горный университет императрицы Екатерины II  
Адрес: 199106, Россия, г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия д.2.  
К.т.н., доцент кафедры ТТПи М  
E-mail: Safiullin\_RR@pers.spmi.ru

### **Ефремова Виктория Александровна**

Санкт-Петербургский Горный университет императрицы Екатерины II

A.F. ZALYUBOVSKIY, R.N. SAFIULLIN, V.A. EFREMOVA

## **IMPROVING THE TRANSPORT SYSTEM OF THE MINING INDUSTRY BASED ON STRUCTURAL ANALYSIS**

**Abstract.** Based on the structural analysis, the classification of transport systems of mining and processing enterprises was clarified according to the indicators of their functional properties, taking into account the integration of elements of intelligent transport systems. An approach has been proposed to create a system for remote diagnostics of the condition of vehicles and the use of infrastructure facilities, which allows, based on monitoring readings, to adjust the frequency and volume of maintenance and repair of mining vehicles to ensure operational reliability and safety.

**Keywords:** transport system, classification, mining transport, diagnostics, reliability

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Treymann M.G. Kopanskaya A.A. Analiz tekhniko-ekonomiceskikh pokazateley transportnykh sistem gornoobogatitel'nykh kompleksov // Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Seriya Ekonomika i ekologicheskiy menedzhment. №4. 2020. S. 17-28.
2. Blinkin M.YA., Kulakova A.A. Bespilotnye avtomobili: perspektivy i ozhidaemye posledstviya ekspansii // Gorodskie issledovaniya i praktiki. 2023. №8(1). S. 32-45.
3. Safiullin R.N., Safiullin R.R. Kontseptual'nye podkhody ratsional'nogo vbyora sostava bortovykh informatsionno-upravlyayushchikh sistem pri perevozke gruzov // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. №5. 2023. S. 45-52 .
4. Dubinkin D.M., Aksenov V.V., Pashkov D.A. Tendentsii razvitiya bespilotnykh kar'ernykh samosvalov // Gornye mashiny. 2023. S. 72-78.
5. Goryainov A.N. Klassifikatsiya sistem transporta s uchetom diagnosticheskogo podkhoda // Vostochno-europeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy. Vyp.1/3 (49). Har'kov: Tekhnologicheskiy tsentr. 2011. S. 4-10.
6. Dubinkin D.M., Aksenov V.V., Pashkov D.A. Tendentsii razvitiya bespilotnykh kar'ernykh samosvalov // Gornye mashiny. 2023. S. 72-78.
7. Zemenkova M.YU., Chizhevskaya E.L., Zemenkov YU.D. Intellektual'nyy monitoring sostoyaniy ob'ektoru truboprovodnogo transporta uglevodorodov s primeneniem neyrosetevykh tekhnologiy // Zapiski Gornogo instituta. 2022. T. 258. S. 933-944. DOI: 10.31897/PMI.2022.105.
8. Safiullin R.N., Safiullin R.R., Efremova V.A. Metod kompleksnoy otsenki bortovykh informatsionno-upravlyayushchikh sistem na gornykh mashinakh // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2023. №9-1. S. 49-63.
9. Chicherin I.V., Fedosenkov B.A., Syrkin I.S., Sadovets V.YU., Dubinkin D.M. Kontseptsiya upravleniya bespilotnymi transportnymi sredstvami v usloviyakh otkrytykh gornykh rabot // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal. 2020. №8. S. 109-120.
10. Klebanov A.F., Sizemov D.N., Kadochnikov M.V. Kompleksnyy podkhod k udalennomu monitoringu tekhnicheskogo sostoyaniya i rezhimov ekspluatatsii kar'ernogo avtosamosvala // Gornaya promyshlennost'. 2020. №2. S. 75-81. DOI: 10.30686/1609-9192-2020-2-75-81.
11. Safiullin R. N., Obosnovanie strukturny automatisirovannoy sistemy kontrolya tekhnicheskogo so-stoyaniya transportnogo sredstva na osnove matrichnogo QR-koda // Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa. №2. Vyp. 64. 2023. S 17-22 .
12. Kuzin E.G., Pudov E.YU., Dubinkin D.M. Analiz otkazov uzlov kar'ernykh samosvalov v usloviyakh ekspluatatsii // Gornoe oborudovanie i elektromekhanika. 2021. S. 55-61. DOI: 10.26730/1816-4528-2021-2-55-61.
13. Pavlishin S.G., Stovperts M.V., Pavlishina B.S. Korrektirovanie rezhimov tekhnicheskogo obsluzhivaniya s tsel'yu ucheta regional'nykh usloviy ekspluatatsii // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2020. №1(68). S. 25-33.
14. Tsupkina M.V., Kirkov A.E., Klebanov D.A., Radchenko D.N. Obosnovanie neobkhodimosti uluchsheniya strategii upravleniya funktsionirovaniem gorno-tehnicheskoy sistemy na osnove analiza dannykh ob obrabotke slozhnostrukturnykh blokov // Zapiski Gornogo instituta. 2024. EDN JOLUPJ.

**Zalyubovskiy Andrey Fadeevich**  
St. Petersburg Mining University  
Address: 199106, Russia St. Petersburg  
Candidate of Technical Sciences  
E-mail: Zalyubovskiy\_AF@pers.spmi.ru

**Efremova Victoria Alexandrovna**  
St. Petersburg Mining University  
Address: 199106, Russia St. Petersburg  
Graduate student  
E-mail: Vikaefr99@mail.ru

**Safiullin Ruslan Nuruljvich**  
St. Petersburg Mining University  
Address: 199106, Russia St. Petersburg  
Candidate of Technical Sciences  
E-mail: Safiullin\_RR@pers.spmi.ru

## **ЛОГИСТИЧЕСКИЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ**

УДК 65.011.55

doi:10.33979/2073-7432-2025-1-3(88)-137-143

Е.Л. ИОВЛЕВА, Н.А. ФИЛИППОВА, А.А. НЕРЕТИН

### **ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ МОБИЛЬНОСТИ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ СЕВЕРНОГО ЗАВОЗА**

***Аннотация.** Рассмотрено возможность прогнозирования замерзания реки Алдан Республики Саха (Якутия). Открытие автозимников напрямую зависит от сроков ледостава. В данной работе на основании статистических данных был произведен регрессионный анализ сроков замерзания реки Алдан у п. Хандыга. Сроки ледостава были представлены Федеральным государственным бюджетным учреждением «Якутское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (авторы выражают благодарность отделу мониторинга и библиотеке ЯГУМС за многолетние гидрологические наблюдения) На основе регрессионного анализа предложена методика прогнозирования сроков замерзания реки Алдан, для дальнейшего прогнозирования сроков открытия автозимника.*

**Ключевые слова:** автозимник, северный завоз, прогнозная модель, Марковский процесс, логистика

#### **Введение**

Для обеспечения устойчивости транспортной мобильности доставки грузов северного завоза необходимо применять комплексный подход, включающий в себя оптимизацию маршрутов, использование современных транспортных средств, а также обеспечение надежной логистики [1]. Важным аспектом является также сотрудничество со специализированными компаниями, что позволяет оптимизировать процесс доставки и снизить затраты [2]. При этом необходимо учитывать особенности северных территорий, отсутствие круглогодичных дорог (летом навигация, зимой автозимники). Только комплексный подход и профессиональное планирование позволяют обеспечить эффективность и устойчивость транспортной мобильности доставки грузов северного завоза [3].

Целью данной статьи является определение факторов устойчивой транспортной мобильности доставки грузов северного завоза в Республике Саха (Якутия).

Чтобы достичь эту цель нами были поставлены следующие задачи:

- 1) проанализировать состояние и количество автозимников в Республике Саха (Якутия);
- 2) определить методику, по которой можно было спрогнозировать открытие автозимников.

Большая часть Республики Саха (Якутия) находится в арктической зоне РФ, много есть труднодоступных населенных пунктов, до которых добираются летом - навигацией, зимой - по автозимникам, или воздушным сообщением [4]. Главная проблема, которая объединяет все населенные пункты - это доставка грузов северного завоза. Зимнее время столицу Республики Саха (Якутия) г. Якутск и все арктические районы объединяет сезонные дороги, называемые автозимниками [5].

Автозимник, как правило прокладывается прямо на льду, которое намораживается послойно. От открытия, закрытия и состояния автозимников зависят доставка продовольствий и товаров первой необходимости в труднодоступные населенные пункты в Якутии. Проблемами северного завоза занимаются многие исследователи (Филиппова Н.А., Власов В.М., Богумил В.Н., Пиль Э.А., Соколов Ю.А. и др.), однако, в их работе мало изучено прогнозирование сроков открытий автозимников. Определение методики прогнозирования ледовых

явлений в северных реках, предопределяет открытие автозимников. Зная эти сроки можно планировать северный завоз без больших издержек и рисков [6].

### Материал и методы

На состоянию 2020г. протяженность автомобильных дорог общего пользования в Республике Саха (Якутия) составляла 38 998,7 км, в том числе с твердым покрытием 12 205,9 км, из них автодорог федерального значения – 3 586,2 км (с твердым покрытием – 3 313,6 км), автодорог регионального значения – 13 152,7 км (3 545,3 км) и местного значения – 22 259,8 км (5 347 км) [7].

В таблице 1 показан перечень автомобильных дорог в арктической зоне Якутии [8].

Таблица 1 – Перечень автомобильных дорог общего пользования регионального или муниципального значения Республики Саха (Якутия)

Наименование дороги	Протяженность км	С твердым покрытием	В том числе с покрытием			Сезонные дороги	
			III	IV	V	Сухопутные	Ледовые
Федерального значения							
Вилой	1292,05	1292,05	106,74	1185,30	0	0	0
Колыма	1125,82	1125,82	834,4	291,41	0	0	0
Лена	889,00	889,00	764,23	124,76	0	0	0
Регионального и местного значения							
Анабар	994,07	0	0	0	0	321,4	674,02
Алазея	270	0	0	0	0	91	179
Алдан	107	26,76	0	26,76	0	42,59	37,65
Арктика	2 112,88	78,54	0	55,64	55,64	1 440,8	593,54
Булун	453,62	0	0	0	0	106,43	347,19
Верхоянье	275,36	90,25	0	0	90,25	140,11	45
Индигир	1 971,12	15,97	0	0	15,97	338,96	1 616,19
Мома	242,36	0	0	0	0	238,93	3,43
Оймякон	177,26	0	0	177,26	0	0	0
Яна	1 468,10	245,83	0	0	245,83	521,46	700,81

На рисунке 1 показано соотношение сезонных (автозимников) к общей протяженности дорог общего пользования регионального и местного значения.

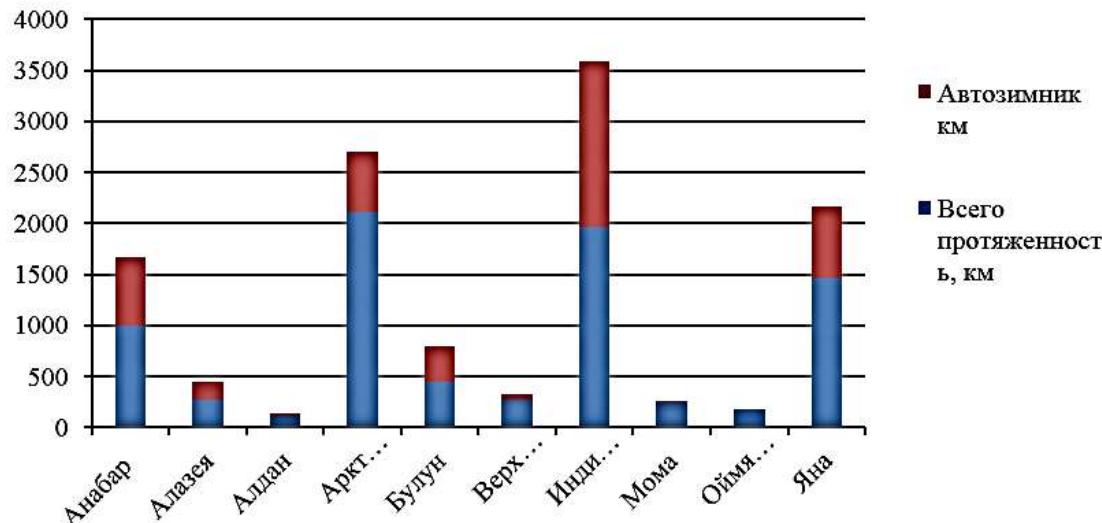


Рисунок – 1 Соотношение автозимников к общей протяженности автомобильных дорог общего пользования регионального и местного значения

В Республике Саха (Якутия) функционирует около 16 тыс км. автозимников. Ежегодный объем завоза продукции топливно-энергетического комплекса составляют более 45 тыс.т.



*Рисунок 2 – Карта переправы «Хандыга- Мегино-Алдан», р. Алдан*

Появление первых ледовых явлений на северных реках отмечается в конце сентября, начале октября. Замерзание происходит в октябре-ноябре. В нашем исследовании, мы будем прогнозировать замерзание реки Алдан на переправе «Хандыга-Мегино-Алдан», так как именно через этот участок дороги, можно доехать до Янской группы районов (Верхоянский, Эвено-Бытантайский, Момский, Усть-Янский районы) и до Колымской группы районов (Верхнеколымский, Среднеколымский и Нижнеколымский районы) Республики Саха (Якутия), Чукотского Автономного округа и до Магаданской области (рис. 2).

#### **Расчет**

Прогнозировать сроки ледовых явлений будем с помощью метода скользящей регрессии [9]. Для регрессионного анализа и для выявления линий тренда, определения доверительного тренда был выбран метод наименьших квадратов [10]. Для того чтобы построить прогнозную модель были выбраны данные даты осеннего перехода среднесуточной температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  [11] на метеостанции Тёплый Ключ за 20 лет (табл. 2).

Таблица 2 – Даты осеннего перехода среднесуточной температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  на метеостанции п. Тёплый Ключ

Год	Дата	Год	Дата
2000	26.09	2012	02.10
2001	07.09	2013	16.09
2002	13.09	2014	15.09
2003	06.10	2015	14.09
2004	29.09	2016	18.09
2005	01.10	2017	01.10
2006	29.09	2018	29.09
2007	20.09	2019	20.09
2008	28.09	2020	02.10
2009	12.10	2021	03.10
2010	27.09	2022	27.09
2011	06.09		

Также нами были изучены даты ледостава на реке Алдан, чтобы определить характер изменения замерзания (табл. 3).

Далее на рисунке 3 показан ход дат замерзания р. Алдан у п. Хандыга и линия тренда. Использования линии тренда, не корректно, так как имеется большая амплитуда колебаний, и поэтому линию тренда описывает полином 6-1 степени.

Таблица 3 – Дата ледостава на реке Алдан за 2000-2022 г.

Год	Дата	Год	Дата
2000	14.11	2012	10.11
2001	30.10	2013	06.11
2002	27.10	2014	29.10
2003	05.11	2015	30.10
2004	02.11	2016	-
2005	30.10	2017	03.11
2006	30.10	2018	07.11
2007	30.10	2019	08.11
2008	04.11	2020	11.11
2009	09.11	2021	06.11
2010	04.11	2022	11.11
2011	03.11		

Многолетний ход дат замерзания р. Алдан у п. Хандыга и линия тренда

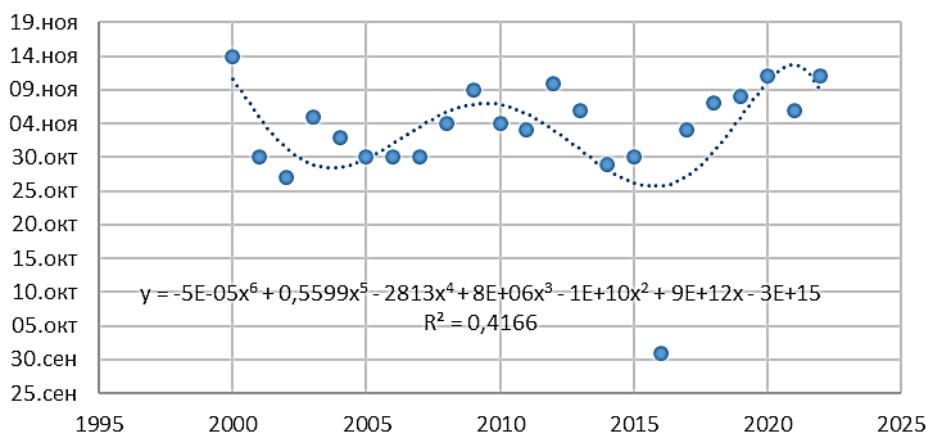


Рисунок 3 – Линия тренда замерзания р. Алдан у п. Хандыга

Описываемую кривую получили в виде полинома 6 степени и описывается формулой (1) [12].

$$y = -5E-05x^6 + 0,5599x^5 - 2813x^4 + 8E+06x^3 - 1E+10x^2 + 9E+12x - 3E+15 \quad (1)$$

С регрессией  $R^2 = 0,4166$ .

### Результаты

Чтобы определить отклонения в линиях тренда подставляем даты замерзания реки в формулу 2 [13].

$$\Delta D_i = D_i - D_I^* \quad (2)$$

где  $D_i$  – это даты замерзания реки Алдан с 2000 до 2022 года (табл. 3).

Исследования показали, что самые значимые пики имеют отклонения от линии тренда на 8 лет. Так как это прогнозная модель необходимо определить доверительный уровень (критерий Тьюки), плотность и спектральную функцию по формуле 3 [14].

$$S(T) = \frac{1}{2\pi} + \sum_{\tau=1}^m \left[ \left( 0.54 + 0.46 \cos \left( \frac{\pi\tau}{m} \right) \right) r(\tau) \frac{\cos 2\pi\tau}{T} \right] \backslash \pi, \quad (3)$$

где  $\tau$  – сдвиг по времени;

$m$  – максимальный сдвиг;

$r$  – автокорреляция;

$T$  – период.

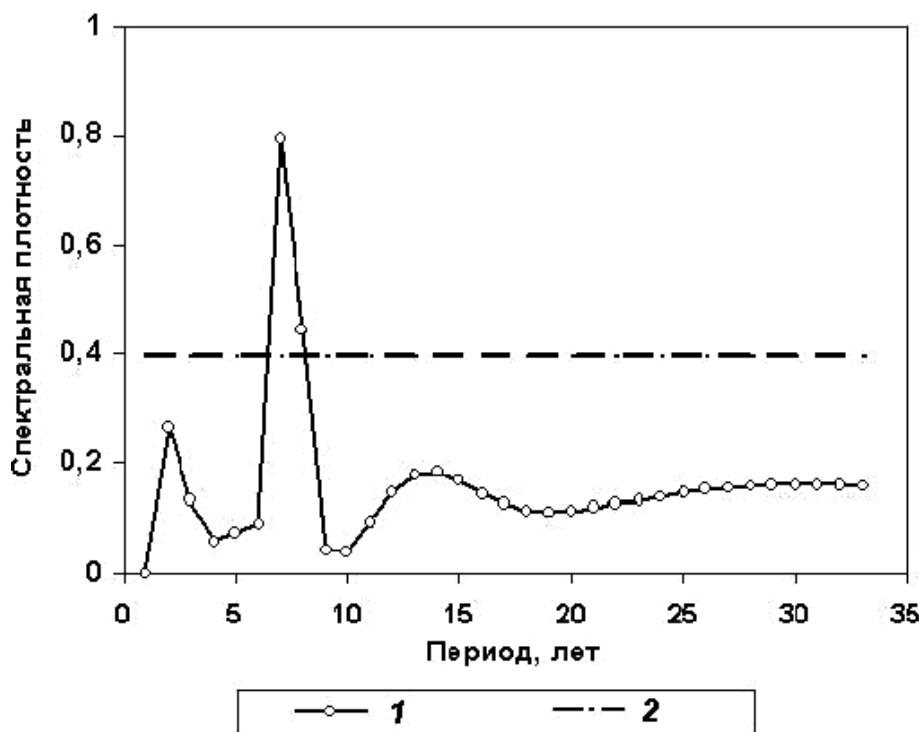


Рисунок 4 – Отклонения дат замерзания с линией тренда (1- период, 2 – линия тренда)

Аппроксимация данных и дальнейший регрессионный анализ установил, что колебания дат замерзания с 2000 по 2022 год на р. Алдан представляет собой сложную прогнозную модель цепи Маркова с трендом на повышение.

#### Обсуждение

Из рисунка 4 мы видим, что ряд не однороден, поэтому дальнейшую прогнозную модель мы будем строить на основе скользящей регрессии. Чтобы построить скользящую регрессию исходные данные к расчётам берем даты осеннего перехода через 0°C с 2000 г. по 2022 г. с метеостанции п. Тёплый Ключ. Так как скользящая регрессия должна иметь минимум 2 предиктора, следующий предиктором выбираем индекс атмосферной циркуляции Блиновой. В данной работе пока не определен индекс атмосферной циркуляции Блиновой с шагом на 9 лет, поэтому уравнение скользящей регрессии для прогноза отклонений дат замерзания рассчитываемую формулой 4[15] будем определять в следующих работах.

$$\Delta D_i = a_i T_i + b_i B_{i-9} + c_i, \quad (4)$$

где  $i$  – год;

$a_i, b_i, c_i$  – коэффициенты скользящей регрессии;

$T_i$  – дата осеннего перехода температуры воздуха через 0 градусов;

$B_{i-9}$  – индекс атмосферной циркуляции Блиновой за июль с шагом в 9 лет.

В дальнейших исследованиях мы построим прогнозную модель замерзания реки Алдан с выборкой 10 лет, 15 лет и 20 лет, и сравним данные с реальными датами замерзания реки.

#### Выводы

Многолетние колебания замерзания реки Алдан у поселка Хандыга имеют вид полиномы 6-й степени и отвечают прогнозной модели цепи Маркова.

В этой работе обоснован метод прогнозирования замерзания реки Алдан и дальнейший прогноз имеет вид скользящей регрессии, так как ряд не однороден.

Были исследованы и определены даты осеннего перехода температуры воздуха через 0°C, и для дальнейших расчётов необходимо определить индекс атмосферной циркуляции Блиновой с шагом на 9 лет.

В результате этой работы нами определена методика прогнозной модели замерзания реки Алдан.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филиппова Н.А., Власов В.М., Богумил В.Н. Обеспечение эффективной и надежной доставки грузов северного завоза для районов Крайнего Севера и Арктической зоны России. 2019.
2. Богер И.Б. Северный завоз грузов в районы Северо-Востока России: совершенствование организационно-экономического механизма // Регион: экономика и социология. 2003. №3. С. 105-121.
3. Зубакина М.А. Северный завоз в Республике Саха (Якутия) // Образование и наука в современных реалиях. 2018. С. 248-249.
4. Бунеев В.М., Синицын М.Г., Седунова М.В. Организация северного завоза в районы Сибири. 2022.
5. Леонов С. Н., Заостровских Е. А. Транспортная инфраструктура для северного завоза республики Саха (Якутия) // Состояние и проблемы развития: тезисы конференции. 2023. С. 35.
6. Кузнецов М.Е., Никишова М.И. Управление северным завозом: правовой аспект // Russian Journal of Economics and Law. 2022. Т. 16. №3. С. 548-565.
7. Жуков М.А., Телеснина В.М. Вопросы оптимизации Северного завоза. 2021.
8. Татарникова П.А. Цифровая модель Северного завоза как способ повышения его эффективности. 2021.
9. Самсонова И.В. Северный завоз: продовольственное обеспечение населения региона арктической зоны Российской Федерации. 2021.
10. Зоркальцев В.И. Метод наименьших квадратов. Новосибирское отделение издательства Наука, 1995.
11. Мусатов М.В., Львов А.А. Анализ моделей метода наименьших квадратов и методов получения оценок // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2009. Т. 4. №2(43). С. 137-140.
12. Ушаков М.В. Гидрологические расчеты и прогнозы для рек Верхней Колымы и Северного Приохотоморья в условиях климатических изменений // Тихоокеанская география. 2020. С. 52.
13. Ушаков М.В. Прогноз сроков замерзания реки Колымы у города Среднеколымск на основе предыстории в 1950-2018 годах // Геополитика и экogeодинамика регионов. 2020. Т. 6. №4. С. 191-202.
14. Севостьянов П.А., Самойлова Т.А., Родин А.А. Последовательные регрессии при анализе и прогнозировании вариабельности временных рядов. 2019.
15. Щербаков В. С. Анализ данных smart meter для прогнозирования нагрузки с использованием искусственных нейронных сетей // Борисовские чтения. 2021. С. 299-301.

**Иовлева Елизавета Лонгиновна**

Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова

Адрес: 677000, Россия, г. Якутск, ул. Белинского, 58

К.т.н., зав. кафедрой машиноведения

E-mail: Elizaveta-iovleva@yandex.ru

**Филиппова Надежда Анатольевна**

Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова

Адрес: 677000, Россия, г. Якутск, ул. Белинского, 58

Д.т.н., профессор кафедры машиноведения

E-mail: umen@bk.ru

**Неретин Александр Андреевич**

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

Адрес: Россия, Москва

К.т.н., доцент кафедры менеджмента

E-mail: neretin\_sasha@mail.ru

---

E.L. IOVLEVA, N.A. FILIPPOVA, A.A. NERETIN

## ENSURING SUSTAINABILITY OF TRANSPORT MOBILITY FOR DELIVERY OF NORTHERN DELIVERY CARGO

*Abstract. The possibility of predicting the freezing of the Aldan River in the Republic of Sakha (Yakutia) is considered. The opening of winter roads directly depends on the timing of freeze-up. In this work, based on statistical data, a regression analysis of the timing of freezing of the Aldan River near the village of Khandyga was carried out. The timing of freeze-up was provided by the Federal State*

*Budgetary Institution «Yakut Department for Hydrometeorology and Environmental Monitoring» (the authors express gratitude to the monitoring department and the YSUMS library for long-term hydrological observations). Based on regression analysis, a methodology for predicting the timing of freezing of the Aldan River was proposed for further forecasting the timing of the opening of the winter road.*

**Keywords:** winter road, northern delivery, predictive model, Markov process, logistics

## **BIBLIOGRAPHY**

1. Filippova N.A., Vlasov V.M., Bogumil V.N. Obespechenie effektivnoy i nadezhnoy dostavki gruzov severnogo zavoza dlya rayonov Kraynego Severa i Arkticheskoy zony Rossii. 2019.
2. Boger I.B. Severnyy zavoz gruzov v rayony Severo-Vostoka Rossii: sovershenstvovanie organizatsionno-ekonomiceskogo mekhanizma // Region: ekonomika i sotsiologiya. 2003. №3. S. 105-121.
3. Zubakina M.A. Severnyy zavoz v Respublike Sakha (YAkutiya) // Obrazovanie i nauka v sovremennoykh realiyah. 2018. S. 248-249.
4. Buneev V.M., Sinitsyn M.G., Sedunova M.V. Organizatsiya severnogo zavoza v rayony Sibiri. 2022.
5. Leonov S. N., Zaostrovskikh E. A. Transportnaya infrastruktura dlya severnogo zavoza respubliki Sakha (YAkutiya) // Sostoyanie i problemy razvitiya: tezisy konferentsii. 2023. S. 35.
6. Kuznetsov M.E., Nikishova M.I. Upravlenie severnym zavozom: pravovoy aspekt // Russian Journal of Economics and Law. 2022. T. 16. №3. S. 548-565.
7. ZHukov M.A., Telesnina V.M. Voprosy optimizatsii Severnogo zavoza. 2021.
8. Tatarnikova P.A. Tsifrovaya model' Severnogo zavoza kak sposob povysheniya ego effektivnosti. 2021.
9. Samsonova I.V. Severnyy zavoz: prodol'stvennoe obespechenie naseleniya regiona arkticheskoy zony Rossiyskoy Federatsii. 2021.
10. Zorkal'tsev V.I. Metod naimen'shikh kvadratov. Novosibirskoe otdelenie izdatel'stva Nauka, 1995.
11. Musatov M.V., L`vov A.A. Analiz modeley metoda naimen'shikh kvadratov i metodov polucheniya otsenok // Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2009. T. 4. №2(43). S. 137-140.
12. Ushakov M.V. Gidrologicheskie raschety i prognozy dlya rek Verkhney Kolomy i Severnogo Priokhotomor`ya v usloviyakh klimaticeskikh izmeneniy // Tikhookeanskaya geografiya. 2020. S. 52.
13. Ushakov M.V. Prognoz srokov zamerzaniya reki Kolyma u goroda Srednekolymsk na osnove predistorii v 1950-2018 godakh // Geopolitika i ekogeodinamika regionov. 2020. T. 6. №4. S. 191-202.
14. Sevost`yanov P.A., Samoylova T.A., Rodin A.A. Posledovatel`nye regressii pri analize i prognozirovaniyu variabel`nosti vremennyykh ryadov. 2019.
15. Shcherbakov V. S. Analiz dannykh smart meter dlya prognozirovaniya nagruzki s ispol`zovaniem iskusstvennykh nevronnykh setey // Borisovskie chteniya. 2021. S. 299-301.

**Iovleva Elizaveta Longinovna**

North-Eastern Federal University

Address: 677000, Russia, Yakutsk, st. Belinsky, 58

Candidate of Technical Sciences

E-mail: Elizaveta-iovleva@yandex.ru

**Filippova Nadezhda Anatolevna**

North-Eastern Federal University

Address: 677000, Russia, Yakutsk, st. Belinsky, 58

Doctor of Technical Sciences

E-mail: umen@bk.ru

**Neretin Alexander Andreevich**

Moscow Automobile and Highway State Technical University (MADI)

Candidate of Technical Sciences

Adress: Russia, Moscow

E-mail: neretin\_sasha@mail.ru

**Уважаемые авторы!  
Просим Вас ознакомиться с требованиями  
к оформлению научных статей.**

**ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ**

- Представляемый материал должен быть оригинальным (оригинальность не менее 70 %), не опубликованным ранее в других печатных изданиях;
- объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах формата А4 и содержит от 4 до 9 страниц;
- 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 присыпать 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.

**Выходы**

Основные выводы исследования могут быть представлены в кратком разделе «Выходы», 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 15-20 источников. В списке литературы количество источников, принадлежащих любому автору не должно превышать 30% от общего количества.

**ПОСТРОЕНИЕ СТАТЬИ**

- Индекс универсальной десятичной классификации (УДК) - сверху слева с абзацным отступом.
- С пропуском одной строки - выровненные по центру страницы, без абзацного отступа и набранные прописными буквами светлым шрифтом 12 pt инициалы и фамилии авторов (И.И. ИВАНОВ).

- С пропуском одной строки - название статьи, набранное без абзацного отступа прописными буквами полужирным шрифтом 14 pt и 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 символа дается с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формуле. Единицы измерения даются в соответствии с Международной системой единиц СИ.

Переносить формулы на следующую строку допускается только на знаках выполняемых операций, причем знак в начале следующей строки повторяют.

### **Пример оформления формулы в тексте**

$$q_1 = (\alpha - 1)^2 \left(1 + \frac{1}{2\alpha}\right)/d, \quad (1)$$

где  $\alpha = 1+2\alpha/b$  - коэффициент концентрации напряжений;

$d = 2a$  - размер эллиптического отверстия вдоль опасного сечения.

**Рисунки** и другие иллюстрации (чертежи, графики, схемы, диаграммы, фотоснимки) следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые. Рисунки, число которых должно быть логически оправданным, представляются в виде отдельных файлов в формате \*.eps (Encapsulated PostScript) или TIF размером не менее 300 dpi.

Если рисунок небольшого размера, желательно его обтекание текстом.

Подписи к рисункам (полужирный шрифт курсивного начертания 10 pt) выравнивают по центру страницы, в конце подписи точка не ставится, например:

### **Рисунок 1 - Текст подписи**

Пояснительные данные набираются светлым шрифтом курсивного начертания 10 pt и ставят после наименования рисунка.

**Таблицы** должны сопровождаться ссылками в тексте.

Заголовки граф и строк таблицы пишутся с прописной буквы, а подзаголовки - со строчной, если они составляют одно предложение с заголовком, или с прописной буквы, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставятся. Текст внутри таблицы в зависимости от объема размещаемого материала может быть набран шрифтом меньшего кегля, но не менее 10 pt. Текст в столбцах располагают от левого края либо центрируют.

Слово «Таблица» размещается по левому краю, после него через тире располагается название таблицы, например: Таблица 1 - Текст названия

Если в конце страницы таблица прерывается и ее продолжение будет на следующей странице, нижнюю горизонтальную линию в первой части таблицы не проводят. При переносе части таблицы на другую страницу над ней пишут слово «Продолжение» и указывают номер таблицы: Пример: Продолжение таблицы 1

Нумерация граф таблицы арабскими цифрами необходима только в тех случаях, когда в тексте имеются ссылки на них, при делении таблицы на части, а также при переносе части таблицы на следующую страницу.

*Адрес издателя:*

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»  
302026, Орловская обл., г. Орёл, ул. Комсомольская, 95  
Тел.: (4862) 75-13-18  
[www.oreluniver.ru](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 25.02.2025 г.  
Дата выхода в свет 28.03.2025 г.  
Формат 70x108/16. Усл. печ. л. 9,1  
Цена свободная. Тираж 500 экз.  
Заказ № 71

Отпечатано с готового оригинал-макета  
на полиграфической базе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»  
302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95