

ISSN 2073-7432

МИР ТРАНСПОРТА  
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 1-1 (84) 2024

Научно-технический  
журнал

Издается с 2003 года

Выходит четыре раза в год

№ 1-1(84) 2024

# Мир транспорта и технологических машин

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

<p>Главный редактор: <b>Новиков А.Н.</b> д-р техн. наук, проф.</p> <p>Заместители главного редактора: <b>Васильева В.В.</b> канд. техн. наук, доц. <b>Родимцев С.А.</b> д-р техн. наук, доц.</p> <p>Редколлегия: <b>Агеев Е.В.</b> д-р техн. наук, проф. (Россия) <b>Агуреев И.Е.</b> д-р техн. наук, проф. (Россия) <b>Басков В.Н.</b> д-р техн. наук, проф. (Россия) <b>Власов В.М.</b> д-р техн. наук, проф. (Россия) <b>Глаголев С.Н.</b> д-р техн. наук, проф. (Россия) <b>Демич М.</b> д-р техн. наук, проф. (Сербия) <b>Денисов А.С.</b> д-р техн. наук, проф. (Россия) <b>Евтюков С.А.</b> д-р техн. наук, проф. (Россия) <b>Жаковская Л.</b> д-р наук, проф. (Польша) <b>Жанказиев С.В.</b> д-р техн. наук, проф. (Россия) <b>Захаров Н.С.</b> д-р техн. наук, проф. (Россия) <b>Зырянов В.В.</b> д-р техн. наук, проф. (Россия) <b>Прентковский О.</b> д-р техн. наук, проф. (Литва) <b>Пржибыл П.</b> д-р техн. наук, проф. (Чехия) <b>Пугачев И.Н.</b> д-р техн. наук, доц. (Россия) <b>Пушкарев А.Е.</b> д-р техн. наук, проф. (Россия) <b>Расоха В.И.</b> д-р техн. наук, проф. (Россия) <b>Ременцов А.Н.</b> д-р пед. наук, проф. (Россия) <b>Ризаева Ю.Н.</b> д-р техн. наук, доц. (Россия) <b>Сарбаев В.И.</b> д-р техн. наук, профессор (Россия) <b>Трофименко Ю.В.</b> д-р техн. наук, проф. (Россия) <b>Трофимова Л.С.</b> д-р техн. наук, доц. (Россия) <b>Шарата А.</b> д-р наук, проф. (Польша)</p> <p>Ответственный за выпуск: <b>Акимочкина И.В.</b></p> <p>Адрес редколлегии: 302030, Россия, Орловская обл., г. Орёл, ул. Московская, 77 Тел. +79058566556 <a href="https://oreluniver.ru/science/journal/mtitit">https://oreluniver.ru/science/journal/mtitit</a> E-mail: <a href="mailto:srmostu@mail.ru">srmostu@mail.ru</a></p> <p>Зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство: ПИ № ФС77-67027 от 30.08.2016г.</p> <p>Подписной индекс: <b>16376</b> по объединенному каталогу «Пресса России» на сайтах <a href="http://www.pressa-rf.ru">www.pressa-rf.ru</a> и <a href="http://www.akc.ru">www.akc.ru</a></p> <p>© Составление. ОГУ имени И.С. Тургенева, 2024</p>	<h2>Содержание</h2> <p><i>Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте</i></p> <p><i>Д.Ю. Чижевская, Ю.Н. Никитин, В.В. Сильянов, В.В. Яковенко</i> Повышение эксплуатационных характеристик системы питания газогенераторных автотранспортных средств ..... 3</p> <p><i>В.В. Сиваков, Е.А. Юрков, К.С. Боровая</i> Совершенствование пассажирских перевозок в г. Брянске с использованием электрического транспорта ..... 13</p> <p><i>Управление процессами перевозок</i></p> <p><i>А.Н. Новиков, С.А. Жесткова</i> Задача маршрутизации кольцевых схем передвижения на основе использования метода фиктивных узлов и ветвей ..... 22</p> <p><i>Эксплуатация автомобильного транспорта</i></p> <p><i>А.И. Петров, Е.В. Лихайрова</i> Анализ особенностей локализации и распределения во времени частоты аварийных столкновений транспортных средств в крупном российском городе ..... 30</p> <p><i>Н.А. Загородний, М.В. Головкин, А.С. Бондарь</i> Исследование перспективных направлений развития информационных транспортных систем ..... 39</p> <p><i>А.Ю. Родичев, И.В. Родичева, К.В. Васильев, И.В. Колтаков</i> Исследование процесса приработки антифрикционных твердосмазочных покрытий в процессе эксплуатации подшипников скольжения ..... 48</p> <p><i>Р.Ф. Шаихов</i> Контроль динамического габарита транспортного средства с применением нейронных сетей ..... 56</p> <p><i>Е.В. Агеев, Е.С. Виноградов</i> Методология прогнозирования ошибок кандидатом в водители при анализе дорожных ситуаций ..... 63</p> <p><i>Д.М. Денисов, М.Ю. Иванов, А.Н. Самсонов</i> Влияние температуры масла гидротрансформатора на выходную мощность транспортного средства в режиме гидромукты ..... 73</p> <p><i>И.Ф. Дьяков, Ю.В. Моисеев, В.И. Дьяков</i> Оптимальное проектирование подвески транспортного средства ..... 81</p> <p><i>А.А. Юнг, А.Г. Шевцова, В.В. Васильева</i> Оценка эффективности использования СИМ в городской среде ..... 87</p> <p><i>А.С. Иванов, Н.И. Сергеев, В.В. Лянденбургский</i> Программное обеспечение диагностирования гидросистем транспортно-технологических машин ..... 94</p> <p><i>В.И. Сарбаев, С. Джованис, А.С. Гришин</i> Управление запасами запасных частей на мультибрендовых автосервисных предприятиях (на примере республики Кипр) ..... 102</p> <p><i>С.Г. Гурьянов</i> Формирование профессиональных навыков специалистов по эксплуатации транспорта в соответствии с требованиями рынка труда ..... 111</p> <p><i>Интеллектуальные транспортные системы</i></p> <p><i>Д.В. Капский, С.В. Богданович, С.А. Ляпин</i> Дизайн города и «транспортный» прогресс, обусловленный технологическим сдвигом ..... 119</p> <p><i>Логистические транспортные системы</i></p> <p><i>Р.Г. Король, С.Д. Подолынина</i> Терминально-логистическое взаимодействие при проектировании трансграничной инфраструктуры ..... 131</p>
---	---

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

# World of transport and technological machines

Scientific and technical journal

Published since 2003

A quarterly review

№ 1-1(84) 2024

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

<p><i>Editor-in-Chief</i> <b>A.N. Novikov</b> <i>Doc.Eng., Prof</i></p> <p><i>Associates Editor</i> <b>V.V. Vasileva</b> <i>Can. Eng.</i> <b>S.A. Rodimzev</b> <i>Doc. Eng.</i></p>	<h2 style="text-align: center;">Contents</h2> <p style="text-align: center;"><i>Transport and transport-technological systems of the country, its regions and cities, organization of production in transport</i></p> <p><i>D.Yu. Chizhevskaya, Yu.N. Nikitin, V.V. Silyanov, V.V. Yakovenko</i> <b>Improving the operational characteristics of the power supply system of gas generator autotransport facilities</b>..... 3</p> <p><i>V.V. Sivakov, E.A. Yurkov, K.S. Borovaya</i> <b>Improvement of the passenger transportation in the town of bryansk using electric transport</b>..... 13</p> <p style="text-align: center;"><i>Management of transportation processes</i></p> <p><i>A.N. novikov, S.A. Zhestkova</i> <b>Routing of ring movement schemes based on dummy nodes and branches</b>..... 22</p> <p style="text-align: center;"><i>Operation of motor transport</i></p> <p><i>A.I. Petrov, E.V. Likhayrova</i> <b>Analysis of localization and distribution features in time of the frequency of emergency collisions of vehicles in a large russian city</b>..... 30</p> <p><i>N.A. Zagorodniy, M.V. Golovkin, A.S. Bondar</i> <b>Research of promising directions for the development of information transport systems</b>..... 39</p> <p><i>A.Yu. Rodichev, I.V. Rodicheva, K.V. Vasiliev, I.V. Kolpakov</i> <b>Investigation of the process of running-in of antifriction hard-lubricating coatings during the operation of plain bearings</b>..... 48</p> <p><i>R.F. Shaikhov</i> <b>Control of the dynamic dimension of the vehicle using neural networks</b>..... 56</p> <p><i>E.V. Ageev, E.S. Vinogradov</i> <b>Methodology for predicting errors by a candidate driver in the analysis of road situations</b>..... 63</p> <p><i>D.M. Denisov, M.Y. Ivanov, A.N. Samsonov</i> <b>The effect of the hydraulic torque converter oil temperature on the output power of the vehicl in the hydraulic coupling mode</b>..... 73</p> <p><i>I.F. Dyakov, Y.V. Moiseev, V.I. Dyakov</i> <b>Optimal suspension design vehicle</b>..... 81</p> <p><i>A.A. Jung, A.G. Shevtsova, V.V. Vasilyeva</i> <b>Evaluation of the effectiveness of using sim in an urban environment</b>..... 87</p> <p><i>A.S. Ivanov, N.I. Sergeev, V.V. Lyandenbursky</i> <b>Software for diagnosis of hydraulic systems of transportation and technological machines</b>..... 94</p> <p><i>V.I. Sarbaev, S. Tziovannis, A.S. Grishin</i> <b>Spare parts inventory management at multi-brand car service enterprises (on the example of the republic of Cyprus)</b>..... 102</p> <p><i>S.G. Guryanov</i> <b>Formation of professional skills of specialists in the operation of transport in accordance with the requirements of the labor market</b>..... 111</p> <p style="text-align: center;"><i>Intelligent transport systems</i></p> <p><i>D.V. Kapski, S.V. Bogdanovich, S.A. Lyapin</i> <b>City design and «transport» progress, due to technological shift</b>..... 119</p> <p style="text-align: center;"><i>Logistic transport systems</i></p> <p><i>R.G. Korol, S.D. Podolinnaya</i> <b>Terminal and logistics interaction in the design of cross-border infrastructure</b>..... 131</p>
<p><i>Editorial Board:</i> <b>E.V. Ageev</b> <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> <b>I.E. Agureev</b> <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> <b>V.N. Baskov</b> <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> <b>V.M. Vlasov</b> <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> <b>S.N. Glagolev</b> <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> <b>M. Demic</b> <i>Doc. Eng., Prof. (Serbia)</i> <b>A.S. Denisov</b> <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> <b>S.A. Evtyukov</b> <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> <b>L. Żakowska</b> <i>Ph.D., Doc. Sc., Prof. (Poland)</i> <b>S.V. Zhankaziev</b> <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> <b>N.S. Zaharov</b> <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> <b>V.V. Zyryanov</b> <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> <b>O. Prentkovskis</b> <i>Doc. Eng., Prof. (Lithuania)</i> <b>P. Pribyl</b> <i>Doc. Eng., Prof. (Czech Republic)</i> <b>I.N. Pugachev</b> <i>Doc. Eng. (Russia)</i> <b>A.E. Pushkarev</b> <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> <b>V.I. Rassoha</b> <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> <b>A.N. Rementsov</b> <i>Doc. Edc., Prof. (Russia)</i> <b>Yu.N. Rizaeva</b> <i>Doc. Eng. (Russia)</i> <b>V.I. Sarbaev</b> <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> <b>Yu.V. Trofimenko</b> <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> <b>L.S. Trofimova</b> <i>Doc. Eng. (Russia)</i> <b>A. Szarata</b> <i>Ph.D., Doc. Sc., Prof. (Poland)</i></p>	
<p><i>Person in charge for publication:</i> <b>I.V. Akimochkina</b></p>	
<p><i>Editorial Board Address:</i> 302030, Russia, Orel, Orel Region, Moskovskaya str., 77 Tel. +7 (905)8566556 <a href="https://oreluniver.ru/science/journal/mtitm">https://oreluniver.ru/science/journal/mtitm</a> E-mail: <a href="mailto:srmostu@mail.ru">srmostu@mail.ru</a></p> <p>The journal is registered in Federal Agency of supervision in sphere of communication, information technology and mass communications. Registration Certificate ПИ № ФС77-67027 of August 30 2016</p>	
<p>Subscription index: <b>16376</b> in a union catalog «The Press of Russia» on sites <a href="http://www.pressa-rt.ru">www.pressa-rt.ru</a> and <a href="http://www.akc.ru">www.akc.ru</a></p>	
<p>© Registration. Orel State University, 2024</p>	

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

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

Научная статья

УДК 621.1

doi:10.33979/2073-7432-2024-1-1(84)-3-12

Д.Ю. ЧИЖЕВСКАЯ, Ю.Н. НИКИТИН, В.В. СИЛЬЯНОВ, В.В. ЯКОВЕНКО

**ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК  
СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ГАЗОГЕНЕРАТОРНЫХ  
АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

***Аннотация.** В работе рассматривается вопрос о возможности использования автомобилей ГАЗель с автоматизированной системой питания искрового ДВС производящей генераторный газ, получаемый путем газификации пеллетного топлива изготовляемого из древесных отходов сосны и полиэтилена. Разработана автоматическая система питания газогенераторного автомобиля с удлинённой базой ГАЗ-33104 «Валдай» с силовой установкой УМЗ-4216 Евро-4 позволяющая для предотвращения отказов искрового ДВС применять топливную смесь, состоящую из 70% генераторного газа и 30% бензина.*

***Ключевые слова:** газогенераторные автомобили, газогенераторная установка, древесные отходы сосны, отходы полиэтилена*

**Введение**

Развитие технологического энергосбережения, переход от экспортно-сырьевого к ресурсноинновационному развитию - цель Энергетической стратегии России до 2035 года. Особая роль при осуществлении энергетической политики отводится эффективному использованию местных видов топлива – отходов лесной и деревоперерабатывающей промышленности; отходов промышленных предприятий и сельского хозяйства, твердых бытовых отходов [1, 2].

Наиболее эффективным топливом для автомобильного газогенератора являются пеллеты основные преимущества, которых: низкая стоимость, в сравнении с жидким моторным топливом; высокая теплота сгорания; низкая зольность; высокий КПД; экологическая чистота; безопасность эксплуатации; удобство хранения, при использовании возможна автоматизация процесса транспортировки [3, 4].

Основной недостаток пеллет низкая механическая прочность. Повышение механической прочности при минимальном снижении остальных свойств является актуальной задачей. Одним из методов повышения этих свойств является использования в качестве связующего отходы пластмассы [5-7].

Транспортно-технологический комплекс является одним из важнейших составных элементов единой транспортной системы в экономике России. По состоянию 1 января 2023 года на ее территории было зарегистрировано 55,87 млн единиц автомобильной техники. Сегмент легких коммерческих автомобилей (LCV), занимает почти 8% (4,22 млн единиц) [5].

Одно из перспективных направлений перевода автомобилей на генераторный газ обусловленное экологическими проблемами, повышением энергетических потребностей человечества, истощением запасов ископаемых топлив и, как следствие, их удорожание развивается по двум направлениям: 1) получение и очистка генераторного газа в специализированных стационарных газогенераторных установках с последующей закачкой газа под давлением в баллоны; 2) установка компактных газогенераторных установок непосредственно на автомобили. Основные усилия направляются на создание и совершенствование газогенераторных установок для автомобильных транспортных средств, которые позволят формировать цены на выпускаемую продукцию независимо от цен на жидкое моторное топливо [3, 9].

Использование газообразных моторных топлив имеет ряд преимуществ перед жидкими моторными топливами. Перевод ДВС на генераторный газ, получаемый из отходов лесопереработки и сельского хозяйства, твердых бытовых отходов возможен при модернизации основных систем и узлов газогенераторного транспорта, совершенствовании процессов сгорания [10, 11].

Основные недостатки известных систем питания ДВС генераторным газом [9]: снижение мощности ДВС при работе на генераторном газе; провалы мощности при переходных режимах; не стабильность работы ДВС в режиме холостого хода; затрудненный запуск ДВС при отрицательных температурах.

Частичная замена генераторного газа бензином позволяет решить эти проблемы. Оба вида топлив в первом случае подаются во впускной трубопровод, а во втором - непосредственно в камеру сгорания цилиндра ДВС, в которой осуществляется рабочий процесс [10, 12].

Цель исследований - разработка автоматизированной системы питания для автомобилей марки ГАЗель с удлинённой базой, позволяющей использовать в качестве моторного топлива смесь генераторного газа, получаемого путем газификации пеллетного топлива из отходов деревообрабатывающей промышленности покрытого полиэтиленом и бензина.

Задачи исследований:

- исследовать элементарный состав и выполнить сравнительный анализ различных видов топлива;
- разработать технологию изготовления и подготовки пеллет к исследованию;
- на основании экспериментальных, расчетных данных и выбранной модели автомобиля с ДВС разработать газогенераторную установку способную размещаться под кузовом автомобиля;
- разработать автоматизированную систему питания для выбранной модели автомобиля с ДВС;

**Материал и методы** исследований

При проектировании наиболее эффективной автоматизированной системы питания газогенераторного автомобиля необходимо учитывать элементный состав пеллетного топлива. Так как пеллеты производятся из различных видов биомассы выполняли контроль их свойств. Контроль качества древесных пеллет выполняли в соответствии со стандартами: содержание углерода, водорода и азота по ГОСТ Р 54216-2010; кислорода по ГОСТ 2408.3-95; серы и хлора по ЕН 15289; остальных элементов по ЕН 15297; пеллет из лузги подсолнечника выполняли в соответствии со стандартами и по известным методикам: содержание углерода и водорода по ГОСТ 2408.1-95; азота по ГОСТ 28743-93; кислорода по ГОСТ 2408.3-95; серы общей по ГОСТ 2059-95; хлора по ГОСТ 9326-2002. Отбор проб выполняли согласно ГОСТ Р 54212-2010 методом сокращения общих проб.

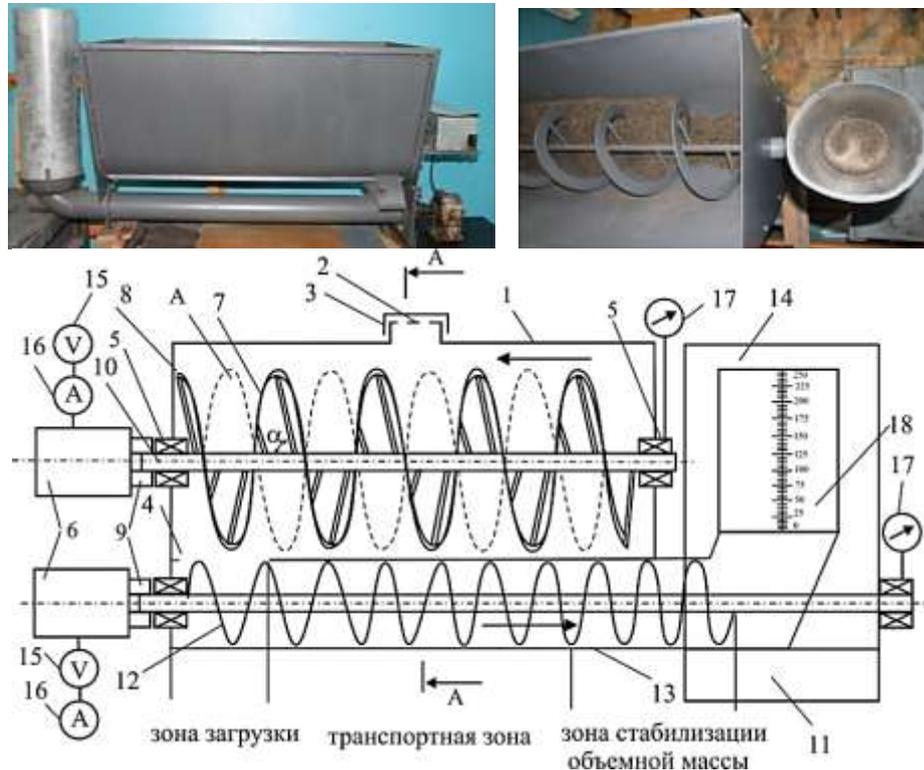
Технология изготовления и подготовки пеллет к исследованию включала: измельчение крупного сырьевого материалы с помощью дробилки до необходимых размеров (длина до 25 мм, диаметр до 2-4 мм); сушка обработанного сырья в сушильном барабане до 5 % влаги; повторное дробление сырья с помощью дробильной мельницы до размера – длина до 4 мм, диаметр до 1,5 мм; корректировка влажности до 5 % в смесителе; подготовка отходов полиэтилена (измельчение, промывка, сушка); выдавливание пеллет покрытых полиэтиленовой пленкой с помощью пресс-гранулятора с одновременной подачей в матрицу расплавленного полиэтилена; охлаждение пеллет в потоке воздуха с одновременным отделением частиц с длиной менее 3 мм.

Выполняли оптический контроль для определения толщины покрытия пеллет покрытых полиэтиленом.

Для характеристики механической прочности пеллет приняты специальные показатели истираемости определяемые на пеллет-тестере. Испытания выполняли согласно стандарту - ГОСТ Р 55110-2012. Испытательный образец подвергали контролируемому ударам путем

столкновения пеллет друг с другом и со стенками специальной вращающейся камеры. Прочность рассчитывают исходя из массы образца, оставшегося после истирания и отделения тонких сломанных частиц.

Для подтверждения расчетного значения высоты камеры газификации с учетом критической высоты столба пеллетного топлива покрытого слоем полиэтилена над шнеком, при которой прекращается транспортирование топлива, использовали стенд (макет конструкции) питателя автомобильного газогенератора (рис. 1) [13, 14].



**Рисунок 1 - Схема и стенд (макет конструкции) питателя автомобильного газогенератора:**

- 1 – бункер-ворошитель; 2 – загрузочный люк; 3 – крышка люка; 4 – разгрузочное окно; 5 – подшипниковые узлы; 6 – приводы шнеков пеллетной горелки и бункера-ворошителя; 7 – ребра-лопасти; 8 – ленточный шнек; 9 – муфта; 10 – вал ленточного шнека; 11 – зольник; 12 – сплошной шнек и вал пеллетной горелки; 13 – пеллетная горелка; 14 – камера газификации; 15 – вольтметр; 16 – амперметр; 17 – тахометр ТСЧ; 18 – прозрачный патрубок с градуированной шкалой по высоте подъёма топлива

### Теория

Производительность шнекового питателя рассчитывалась при различных значениях высоты столба топлива над шнеком ( $h$ ). Целью расчётов являлось нахождение зависимости производительности шнекового питателя от высоты столба топлива и критической высоты столба топлива, при которой прекращается транспортирование топлива.

Искомым параметром в уравнении (1) является угол  $\beta$  между абсолютной скоростью движения потока  $V_a$  и переносной скоростью  $V_e$ . Вычислив этот угол для данных условий транспортирования пеллетного топлива (высота столба топлива над шнеком  $h$ , наружный диаметр шнека  $D$ , диаметр вала шнека  $d$ , шаг винтовой линии шнека  $S$ , угол наклона винтовой линии шнека  $\alpha$ , зависящий от соотношения между  $S$  и  $D$ , угловая скорость шнека во вращательном движении  $\omega_e$ , толщина лопасти  $t$ , плотность пеллетного топлива покрытого полиэтиленом  $\gamma$ , коэффициент трения пеллетного топлива о кожух шнекового питателя и о винтовую поверхность шнека  $f$ ), можно определить абсолютную скорость выделенной части потока  $V_a$  и ее проекцию  $V_{ax}$ . Вычислив  $V_a$  и  $V_{ax}$ , можно рассчитать производительность шнекового питателя для данных условий транспортирования.

$$\frac{\gamma h g \cdot (D^2 - d^2) \cdot (\sin \alpha + f \cdot \cos \alpha)}{f \cdot [(\cos \alpha - f \cdot \sin \alpha) \cdot \cos \beta - (\sin \alpha + f \cdot \cos \alpha) \cdot \sin \beta]} + \frac{(D^2 - d^2) \cdot (S - t) \cdot \gamma \cdot \omega_e^2 \cdot (D + d)}{8(1 + \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta)} = (S - t) \gamma \cdot \left[ D h g + \frac{(D^2 - d^2) \cdot (D + d) \omega_e^2}{16} \right]. \quad (1)$$

Абсолютная скорость выделенной части потока  $V_a$  может быть определена из соотношения:

$$V_a = \frac{\omega_e \rho_{cp} \sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)}, \quad (2)$$

а на ось  $X$  из соотношения:

$$V_{ax} = V_a \cdot \sin \beta = \frac{\omega_e \rho_{cp} \sin \alpha \cdot \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)}, \quad (3)$$

где  $\rho_{cp} = \frac{D + d}{4}$  – средний радиус;

$$\alpha = \operatorname{arctg} \left( \frac{S}{\pi \cdot D} \right).$$

С учетом того, что выходная часть шнекового питателя полностью заполнена пеллетным топливом ( $\psi = 1$ ), а также, принимая во внимание, что  $V_{ax} = V_a \cdot \sin \beta$ , расчетная производительность  $Q$  шнекового питателя выражение (4) можно представить в следующем виде:

$$Q = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot V_a \cdot \sin \beta \cdot \gamma \cdot \frac{S - t}{S}. \quad (4)$$

Изменяя с малым шагом угол  $\beta$  от  $-2\pi$  до  $+2\pi$  (шаг изменения угла  $\beta$  составлял  $0,001\pi$ ) для выбранных условий транспортирования находили такой угол  $\beta$ , при котором достигалась минимальная разница ( $\min$ ) между правой и левой частями уравнения (1) ( $\min = 0,0001$ ).

Расчет состава генераторного газа и питателя автомобильной газогенераторной установки способной размещаться под кузовом автомобиля работающей на пеллетном топливе изготовленном из древесных отходов сосны и покрытых полиэтиленом выполняли в соответствии методикой представленной в работе [15-17].

### Результаты и обсуждение

На основании проведенных исследований элементного состава различных видов топлив установлено, что наиболее эффективным топливом для газификации являются пеллеты изготовленные из древесных отходов сосны, так как содержат наибольшее количество горючих компонентов – 58,6 % (табл. 1).

Таблица 1 – Средние конечные результаты элементного состава пеллетного топлива

Химические элементы	Содержание, %					
	Сосна	Дуб	Ольха	Лузга подсолнечника	Полиэтилен	Древесина сосны с добавлением 10% отходов полиэтилена
Углерод	52,4	50,6	48,8	47,4	33,6	50,7
Водород	6,2	6,3	6,1	5,8	66,7	11,8
Кислород	41,2	42,7	44,5	41,4	-	37,2
Азот	0,2	0,4	0,5	1,4	-	0,18
Сера	0,08	0,07	0,07	0,01	-	0,07
Хлор	0,03	0,03	0,03	0,012	-	0,027

Установлено оптимальное содержание полиэтилена в отходах древесины сосны – 10%. При таком содержании горючих компонентов суммарный состав горючих компонентов

газа примерно одинаковый (табл. 2), что существенно не снижает мощность двигателя при 2400 об./мин (табл. 3) при работе на пеллетах из сосны покрытых полиэтиленом.

С целью размещения газогенераторной установки, включающей газогенератор и транспортную систему подачи пеллет в реакционную зону под кузовом автомобиля, необходимо выбирать модель автомобиля с ДВС работающем на как на жидком, так и на газообразном топливе. Из работ [13, 15] известно, что наиболее целесообразно газогенераторы устанавливать на грузовые автомобили грузоподъемностью до 1,5 т, обладающие при работе на бензине большим запасом мощности. Переоборудование этих автомобилей газогенераторными установками производится при минимальных потерях мощности (максимум до 30%, если двигатель бензиновый) и без каких-либо изменений шасси.

Таблица 2 – Анализ свойств топлив

Параметр	Пеллеты из сосны (Пеллеты из сосны покрытые полиэтиленом)	Бензин А-92	Генераторный газ	
			Пеллеты из сосны	Пеллеты из сосны покрытые полиэтиленом
Размеры, форма топлива	Ø6 (Ø6,246 мм) Длина 3-40 мм	-		-
Толщина покрытия полиэтиленом	0,123 мм	-		-
Внешний вид	Торцы пеллет покрыты полиэтиленом, микротрещины и микропоры заполнены полиэтиленом	-		-
Механическая прочность, %	97,3 (99,5)	-		-
Коэффициент внешнего трения в покое	0,52 (0,2)	-		-
Влажность $W^p$ , мас. %	5,0	-		-
Зольность $A^c$ , мас. %	0,5	-		-
Состав генераторного газа, об. %:				
- CO	-	-	40,4	27,43
- H <sub>2</sub>	-	-	21,78	34,47
- CO <sub>2</sub>	-	-	0,04	2,1
- N <sub>2</sub>	-	-	37,8	35,9
Суммарный состав горючих компонентов газа, об. %	-	-	62,18	61,9
Плотность топлива при 273 К, кг/м <sup>3</sup>	650	720-775	1,005	0,864
Теплота сгорания топлива, МДж/кг (МДж/м <sup>3</sup> для газа)	17,8	24,93	7,47	7,19
Смешиваемость с водой	-	Плохая	Отсутствует	
Смешиваемость с углеводородными топливами	-	Хорошая	Удовлетворительная	
Стоимость, руб./м <sup>3</sup>	4225	60000	-	-

Немаловажным фактором выбора транспортного средств для переоборудования является распространенность на территории Российской Федерации марок лёгких коммерческих автомобилей (LCV) грузоподъемностью до 1,5 т. применяющихся для внутрипроизводственных (до 70 %), городских и межгородских внешних перевозок (15-30 %) [8]. На основании выше изложенного выбраны автомобили марки ГАЗ. Для размещения газогенераторной установки под кузовом автомобиля необходимо достаточное пространство – чем больше колесная база, тем, больше топлива можно разместить и тем самым увеличить пробег автомобиля. Таким критериям отвечают модели марки ГАЗ [18]. Из перечисленных для расчета газогенераторной установки выбрали модель ГАЗ-33104 «Валдай» использующую газобензиновый двигатель УМЗ-4216 Евро-4.

Таблица 3 - Расчетные и экспериментальные показатели питателя автомобильного газогенератора использующего в качестве топлива пеллеты изготовленные из древесных отходов сосны и покрытых полиэтиленом

Параметр	Показатели	
	Пеллеты из сосны	Пеллеты из сосны покрытые полиэтиленом
1	2	3
Расход воздуха на газификацию 1 кг топлива, м <sup>3</sup> /кг	1,065	1,34
Суммарное содержание водяных паров в газе (кг) при газификации 1 кг топлива	0,108	0,239
КПД газогенератора, %	89,7	90
Расход воздуха на сгорание 1 м <sup>3</sup> генераторного газа, м <sup>3</sup>	1,48	1,474
Теплота сгорания газо - воздушной смеси, МДж/м <sup>3</sup>	2,77	2,67
Объем камеры сгорания двигателя, л	2,9	
Степень сжатия	9	
Индикаторный КПД	0,376	0,376
Среднее индикаторное давление, кгс/см <sup>2</sup>	7,44	7,2
Среднее давление трения, кгс/см <sup>2</sup>	1,55	1,55
Среднее эффективное давление, кгс/см <sup>2</sup>	5,89	5,6
Мощность двигателя, л.с., при 2400 об/мин.	68,3	65,3
Расход газа (м <sup>3</sup> /ч), обеспечивающий расчетную мощность двигателя	54,2	63
Часовой расход твердого топлива, кг/ч	24	18
Напряженность горения твердого топлива, кг/(м <sup>2</sup> ·ч)	900	
Диаметр камеры газификации, мм	195	
Удельный объем камеры газификации, л/л.с.	0,4	
Высота активного слоя (мм)	200	
Высота камеры газификации, мм	220	250
Достигнутый условный КПД газогенератора	0,9	
Высота зольника, мм	70	
(периодичность чистки зольника 4 часа)	203	
Диаметр зольника, мм	600	
Длина бункера - ворошителя, мм	500	
Внутренний диаметр бункера - ворошителя, мм		
Объем бункера – ворошителя, м <sup>3</sup>	0,118	
Масса топлива, загружаемого в бункер - ворошитель, кг	76,7	
Периодичность догрузки бункера - ворошителя, ч	3,19	4,26

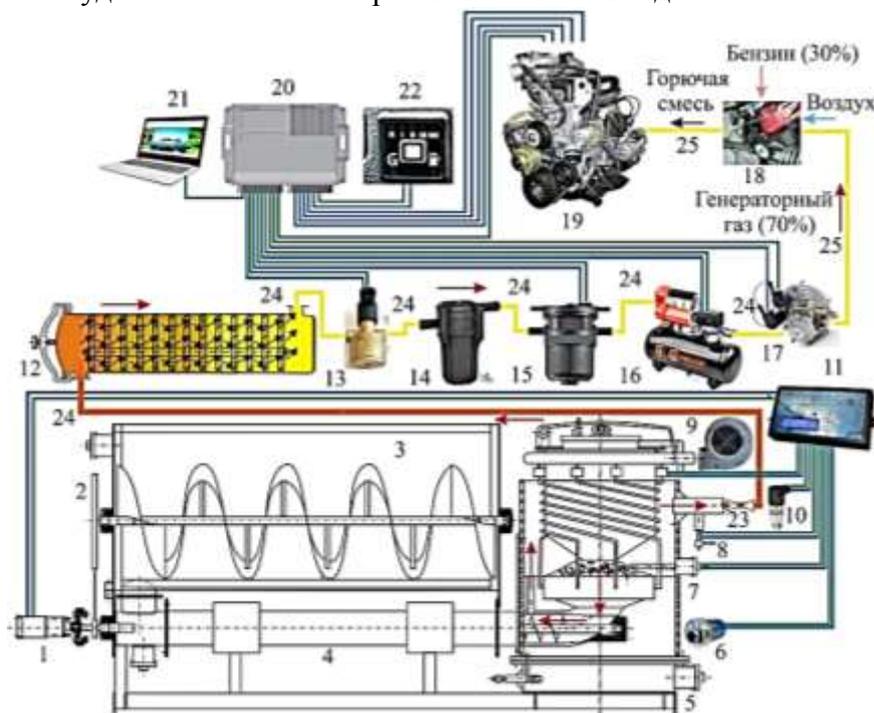
Расчет питателя автомобильной газогенераторной установки способной размещаться под кузовом автомобиля ГАЗ-33104 «Валдай» работающей на пеллетном топливе, изготовленном из древесных отходов сосны и покрытых полиэтиленом представлен в таблице 3.

Использование исследуемых пеллет имеющих более высокую механическую прочность и низкий коэффициент трения (табл. 2) позволяет транспортировать их на большую высоту без образования древесной пыли, что подтверждают расчетные и экспериментальные данные. Это позволяет увеличить камеру газификации (табл. 3) и тем самым улучшить процесс газификации, а также повысить качество генераторного газа. Периодичность догрузки бункера – ворошителя (рис. 1) в этом случае уменьшилась в 1,3 раза, а это позволяет работать газогенераторному автомобилю большее время без дозаправки.

Для решения основных недостатков известных систем питания ДВС генераторным газом таких указанных выше предлагается, на основании теоретических и экспериментальных данных, частичную замену генераторного газа бензином, например АИ-92. Результаты исследования свойства пеллет изготовленных из древесных отходов сосны покрытых полиэтиленом, бензина и генераторного газа [10, 13] представленные в таблицах 1 и 2 использовались для расчёта и проектирования питателя автомобильного газогенератора (табл. 3).

Для разработки автоматизированной системы питания ДВС автомобиля включающей газогенератор, работающий на пеллетном топливе, изготовленном из древесных отходов сосны покрытом полиэтиленом, транспортную систему подачи пеллет в реакционную зону, транспортную систему подачи газа и штатную систему питания жидким топливом - бензином, использованы ряд работ [10, 13, 15, 17-19 и др.].

На основании выполненной работы предлагается автоматизированная система питания искрового ДВС с элементами ГБО (рис. 2) с размещением газогенераторной установки под кузовом устанавливая параллельно штатной системе питания жидким топливом - бензином автомобиля с удлиненной базой марки ГАЗ-33104 «Валдай».



**Рисунок 2 - Схема автоматизированной системы питания искрового ДВС генераторным газом автомобиля марки ГАЗ-33104 «Валдай»:** 1 - привод сплошного шнекового транспортера пеллетной горелки объемного типа; 2 – цепная передача; 3 - бункер-ворошилка; 4 – пеллетная горелка объемного типа; 5 - комбинированный параметрический газогенератор; 6 - датчик пламени открытого огня; 7 - керамический нагревательный элемент; 8 - прибор для измерения температуры со встроенным датчиком температуры; 9 - вентилятор наддува; 10 - датчик давления; 11 – дисплей; 12 - очиститель-охладитель грубой очистки газа; 13 - клапан газа; 14 – фильтр циклонного типа с отстойником; 15 – фильтр тонкой очистки газа с встроенными интегрированными датчиками давления и температуры; 16 – компрессор с ресивером; 17 – редуктор; 18 - смесительный узел регулируемого карбюратора; 19 - двигатель УМЗ-4216 Евро-4; 20 - блок управления; 21 – программное обеспечение для диагностики блок управления; 22 – салонный переключатель «газ-бензин»; 23 - трехходовой газовый термостойкий кран; 24 - медная магистраль; 25 - термопластиковая магистраль

В системе питания используется комбинированный параметрический газогенератор [20] позволяющий повысить эффективность процесса газификации в газогенераторе за счет подогрева воздуха, подаваемого в реакционную зону через фурмы; изменять число задействованных фурм для газификации поддерживая при этом постоянную скорость истечения воздуха необходимого из фурмы на различных режимах работы газогенератора. На основании работы [10] для исключения отказов искрового ДВС применяется топливная смесь – 70 % генераторного газа и 30 % бензина. При проектировании системы питания генераторным газом автомобиля марки ГАЗ-33104 «Валдай» использована, разработанная автором [10], новая конструктивно-технологическая схема системы регулирования подачи генераторного газа, обеспечивающая, нормальную работу ДВС с добавками бензина.

**Выводы**

1. Экспериментально установлено, что наиболее эффективным топливом для автоматизированной системы питания газогенераторного автомобиля являются древесные отходы сосны с добавлением 10 % полиэтилена;
2. Разработана технология изготовления пеллет из древесных отходов сосны покрытых отходами полиэтилена толщиной 0,123 мм и подготовки пеллет к исследованию;
3. На основании экспериментальных, расчетных данных разработана газогенераторная установка способная размещаться, под кузовом автомобиля марки ГАЗ-33104 «Валдай»;
4. С целью повышения эксплуатационных характеристик автомобиля марки ГАЗ-33104 «Валдай» разработана схема автоматизированной системы питания искрового ДВС генераторным газом за счет применения комбинированного параметрического газогенератора и использования топливной смеси состоящей из 70 % генераторного газа и 30 % бензина.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Об Энергетической стратегии РФ на период до 2035 г.: Распоряжение Правительство РФ от 9 июня 2020 г. №1523-р.
2. Козлов А.Н. Современных тенденций развития технологий газификации твердых топлив // Известия РАН. Энергетика Обзор. 2021. №1. С. 130-148.
3. Спиридонов В.Д., Милукова А.В., Сиваков В.В. Пеллеты как альтернативный источник энергии для автомобиля // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. 2016. Т. 3 №1(4). С. 48-52.
4. Фомин В.М., Апельинский Д.В. Анализ технологий переработки альтернативных источников энергии в моторное топливо // Известия МГТУ. 2014. №1(19). С. 66-73.
5. Судакова И.Г., Руденко Н.Б. Получение твёрдых биотоплив из растительных отходов (обзор) // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия. 2015. Т. 8. №4. С. 499-513.
6. Губачева Л.А., Чижевская Д.Ю., Андреев А.А. Совершенствование автомобильного газогенератора, газифицирующего биомассу и отходы полиэтилена // АвтоГазоЗаправочный комплекс + Альтернативное топливо. 2020. Т. 19. №5. С. 230-237.
7. Сычева Н.А., Хмызов И.А., Соловьева Т.В. Влияние режима гранулирования и состава топливных пеллет на их прочностные свойства // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2016. №3. С. 72-79.
8. В российском автопарке - почти 56 млн. транспортных средств | АВТОСТАТ. Аналитическое агентство «АВТОСТАТ» [Электронный ресурс] / URL: <https://www.autostat.ru/news/53953>.
9. Солодовников Д.Н., Мерзликина К.И. Экономическая оценка использования биологически чистого топлива на транспорте // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. 2014. №1. С. 70-73.
10. Зубакин А.С. Экономия нефтяного топлива и улучшение экологических показателей искрового ДВС путем применения генераторного газа: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02: Киров, 2021. 130 с.
11. Куликов С.В. Использование перспективных видов топлива для автомобилей // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. 2016. Т. 2. №2. С. 379-385.
12. Шишков В.А. Методы управления рабочим циклом двухтопливных и однотопливных поршневых газовых двигателей внутреннего сгорания с искровым зажиганием: дис. ... д-ра техн. наук: 05.04.02: Самара, 2013. 395 с.
13. Чижевская Д.Ю. Повышение эффективности многотопливного подвижного состава транспортных систем: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01: Луганск, 2022. 180 с.
14. Устройство для подачи топлива к установкам для сжигания: заявка на пат. Украина №67440 / Губачева Л.А., Андреев А.А., Шевченко Д.Ю.; от 27.02.12.
15. Токарев Г.Г. Газогенераторные автомобили. М.: Машгиз, 1955. 205 с.
16. Кашин Е.М., Диденко В.Н. Новый метод расчета состава древесного генераторного газа обращенного процесса газификации // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2019. №4. С. 341-361.
17. Юдушкин Н.Г. Газогенераторные тракторы. Теория, конструкция и расчет. – М.: Гос. науч.-техн. изд-во машиностроит. лит-ры, 1955. 244 с.
18. ГАЗЕЛЬ 2705, 3302 и модификации с двигателями ЗМЗ-40524, УМЗ-4216 и Chrysler / Под ред. В. Устинов, А.А. Шорохов. Мир Автокниг, 2005. 331с.
19. Самылин А.А., Цивенкова Н.М. Настольный справочник конструктора газогенераторный установок.

Житомир: ДАУ. 555 с.

20. Нечаев Г.И., Чижевская Д.Ю., Никитин Ю.Н., Будиков Л.Я. Совершенствование газогенератора, вырабатывающего газообразное топливо для ДВС // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. 2022. №7(61). С. 111-116.

**Чижевская Дарья Юрьевна**

Луганский государственный университет имени Владимира Даля  
Адрес: 291034, Россия, г. Луганск, квартал Молодёжный, 20а  
К.т.н., доцент кафедры «Транспортные технологии»  
E-mail: shevchenkodu@mail.ru

**Никитин Юрий Николаевич**

Луганский государственный университет имени Владимира Даля  
Адрес: 291034, Россия, г. Луганск, квартал Молодёжный, 20а  
К.т.н., доцент кафедры «Транспортные технологии»  
E-mail: ynnikitint@mail.ru

**Сильянов Валентин Васильевич**

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет  
Адрес: 125319, Россия, Москва, Ленинградский проспект, 64  
Д.т.н., профессор кафедры «Изыскания и проектирование дорог»  
E-mail: silyanov@bk.ru

**Яковенко Валерий Владимирович**

Луганский государственный университет имени Владимира Даля  
Адрес: 291034, Россия, г. Луганск, квартал Молодёжный, 20а  
Д.т.н., профессор кафедры «Электротехника»  
E-mail: kaf-el-mex@yandex.ru

---

D.YU. CHIZHEVSKAYA, YU.N. NIKITIN, V.V. SILYANOV, V.V. YAKOVENKO

## **IMPROVING THE OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF THE POWER SUPPLY SYSTEM OF GAS GENERATOR AUTOTRANSRORT FACILITIES**

***Abstract.** The paper considers the possibility of using GAZELLE cars with an automated spark engine power system producing generator gas obtained by gasification of pellet fuel made from pine wood waste and polyethylene. An automatic power supply system for a gas generator car with an extended base GAZ-33104 «Valdai» with a power plant UMZ-4216 Euro-4 has been developed, which allows to use a fuel mixture consisting of 70 % generator gas and 30 % gasoline to prevent spark engine failures.*

***Keywords:** газогенераторные автомобили, газогенераторная установка, древесные отходы сосны, отходы полиэтилена*

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Ob Energeticheskoy strategii RF na period do 2035 g.: Rasporyazhenie Pravitel'stvo RF ot 9 iyunya 2020 g. №1523-r.
2. Kozlov A.N. Sovremennykh tendentsiy razvitiya tekhnologiy gazifikatsii tverdykh topliv // Izvestiya RAN. Energetika Obzor. 2021. №1. S. 130-148.
3. Spiridonov V.D., Milyukova A.V., Sivakov V.V. Pellety kak al'ternativnyy istochnik energii dlya avtomobilya // Al'ternativnye istochniki energii v transportno-tekhnologicheskom komplekse: problemy i perspektivy ratsional'nogo ispol'zovaniya. 2016. T. 3 №1(4). S. 48-52.
4. Fomin V.M., Apelinskiy D.V. Analiz tekhnologiy pererabotki al'ternativnykh istochnikov energii v motor-noe toplivo // Izvestiya MGTU. 2014. №1(19). S. 66-73.
5. Sudakova I.G., Rudenko N.B. Poluchenie tviordyykh biotopliv iz rastitel'nykh otkhodov (obzor) // Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Himiya. 2015. T. 8. №4. S. 499-513.
6. Gubacheva L.A., Chizhevskaya D.Yu., Andreev A.A. Sovershenstvovanie avtomobil'nogo gazogeneratora, gazifitsiruyushchego biomassu i otkhody polietilena // AvtoGazoZapravochnyy kompleks + Al'ternativnoe toplivo. 2020. T. 19. №5. S. 230-237.

7. Sycheva N.A., Hmyzov I.A., Solov'eva T.V. Vliyanie rezhima granulirovaniya i sostava toplivnykh pellet na ikh prochnostnyye svoystva // Vestnik MGUL - Lesnoy vestnik. 2016. №3. S. 72-79.
8. V rossiyskom avtoparke - pochtii 56 mln. transportnykh sredstv | AVTOSTAT. Analiticheskoe agentstvo «AVTOSTAT» [Elektronnyy resurs] / URL: <https://www.autostat.ru/news/53953>.
9. Solodovnikov D.N., Merzlikina K.I. Ekonomicheskaya otsenka ispol'zovaniya biologicheskhi chistogo topliva na transporte // Al'ternativnye istochniki energii v transportno-tekhnologicheskoy kompleksе: problemy i perspektivy ratsional'nogo ispol'zovaniya. 2014. №1. S. 70-73.
10. Zubakin A.S. Ekonomiya neftyanogo topliva i uluchsheniye ekologicheskikh pokazateley iskrovogo DVS putem primeneniya generatornogo gaza: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.04.02: Kirov, 2021. 130 s.
11. Kulikov C.B. Ispol'zovanie perspektivnykh vidov topliva dlya avtomobiley // Al'ternativnye istochniki energii v transportno-tekhnologicheskoy kompleksе: problemy i perspektivy ratsional'nogo ispol'zovaniya. 2016. T. 2. №2. S. 379-385.
12. Shishkov V.A. Metody upravleniya rabochim tsiklom dvukhtoplivnykh i odnotoplivnykh porshnevnykh gazovykh dvigateley vnutrennego sgoraniya s iskrovym zazhiganiem: dis. ... d-ra tekhn. nauk: 05.04.02: Samara, 2013. 395 s.
13. Chizhevskaya D.YU. Povysheniye effektivnosti mnogotoplivnogo podvizhnogo sostava transportnykh sistem: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.22.01: Lugansk, 2022. 180 s.
14. Ustroystvo dlya podachi topliva k ustanovkam dlya szhiganiya: zayavka na pat. Ukraina №67440 / Gubacheva L.A., Andreev A.A., Shevchenko D.Yu.; ot 27.02.12.
15. Tokarev G.G. Gazogeneratornyye avtomobili. M.: Mashgiz, 1955. 205 s.
16. Kashin E.M., Didenko V.N. Novyy metod rascheta sostava drevesnogo generatornogo gaza obrashchenogo protsessa gazifikatsii // Energetika. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy i energeticheskikh ob"edineniy SNG. 2019. №4. S. 341-361.
17. Yudushkin N.G. Gazogeneratornyye traktory. Teoriya, konstruktsiya i raschet. - M.: Gos. nauch.-tekhn. izd-vo mashinostroitel. lit-ry, 1955. 244 s.
18. GAZEL` 2705, 3302 i modifikatsii s dvigatelyami ZMZ-40524, UMZ-4216 i Chrysler / Pod red. V. Ustinov, A.A. Shorokhov. Mir Avtoknig, 2005. 331s.
19. Samylin A.A., Tsivenkova N.M. Nastol'nyy spravochnik konstruktora gazogeneratornyykh ustanovok. Zhitomir: DAU. 555 s.
20. Nechaev G.I., Chizhevskaya D.Yu., Nikitin Yu.N., Budikov L.Ya. Sovershenstvovanie gazogeneratora, vyrabatyvayushchego gazoobraznoye toplivo dlya DVS // Vestnik Luganskogo gosudarstvennogo universiteta imeni Vladimira Dalya. 2022. №7(61). S. 111-116.

**Chizhevskaya Darya Yurievna**

Lugansk State University  
Address: 291034, Russia, Lugansk, Molodezhny block, 20a  
Candidate of technical sciences  
E-mail: shevchenkodu@mail.ru

**Nikitin Yuri Nikolaevich**

Lugansk State University  
Address: 291034, Russia, Lugansk, Molodezhny block, 20a  
Candidate of technical sciences  
E-mail: ynnikitint@mail.ru

**Silyanov Valentin Vasilyevich**

Moscow Automobile and Road State Technical University  
Address: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky Prospekt, 64  
Doctor of technical sciences  
E-mail: silyanov@bk.ru

**Yakovenko Valery Vladimirovich**

Lugansk State University  
Address: 291034, Russia, Lugansk, Molodezhny block, 20a  
Doctor of technical sciences  
E-mail: kaf-el-mex@yandex.ru

Научная статья

УДК 656: 072

doi:10.33979/2073-7432-2024-1-1(84)-13-21

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

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК В Г. БРЯНСКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

***Аннотация.** Рассмотрено состояние вопроса совершенствования маршрутной сети г.Брянск и возможные направления их совершенствования. Проанализированы варианты существующих автобусных и троллейбусных маршрутов, выявлены маршруты с высокой степенью дублирования. Предложено изменения дублирующих маршрутов с применением троллейбусов с динамической зарядкой и имеющих достаточно большой запас автономного хода. Определено возможное снижение суммарных массовых выбросов отработанных газов и значительное снижение эксплуатационных затрат в случае применения троллейбусов с динамической зарядкой.*

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

### **Введение**

В настоящее время транспорт представляет единую (в социально-экономическом отношении) транспортную систему, в которую включены автомобильные, железнодорожные, морские, речные, воздушные, трубопроводные и промышленные коммуникации [1-3].

Электрический автобус представляет собой экологически чистую технологию, предназначенную снизить выбросы углерода и ее применение может являться одним из вариантов, способствующих решению экологических проблем.

Городской пассажирский транспорт используется для перевозок пассажиров и багажа в пределах населенного пункта.

В настоящее время наиболее перспективным видом транспорта считается электрический, в первую очередь это электробусы. По типу зарядки электробусы делятся на электробусы с ночным способом зарядки, с динамическим способом зарядки, с быстрой зарядкой, с инновационной быстрой зарядкой, с зарядкой на остановках. Каждый вариант обладает своим набором достоинств и недостатков.

Как показало исследование, наблюдается повсеместное снижение численности автобусов, троллейбусов и трамваев - как в странах Евросоюза, так и в России. Одновременно наблюдается тенденция роста популярности электробусов, общее число их достигло 600 тыс. единиц [4].

Цель статьи - совершенствование пассажирских перевозок в г. Брянске и определение возможного снижения выбросов вредных веществ в отработанных газах.

### **Материал и методы**

Совершенствование транспортного обслуживания населения городов является одним из приоритетов развития страны и осуществляется для повышения качества жизни. Исследования в этом направлении идут и в России, и за рубежом [5-11].

Согласно концепции развития г. Брянска, планируется полностью обновить троллейбусный парк путём закупки новых троллейбусов марок ВМЗ-5592.01 «Авангард», ПКТС-6281.00 «Адмирал», а так же транспорт с автономным ходом (электробус с динамической зарядкой) УТТЗ-6241.01 «Горожанин» [12].

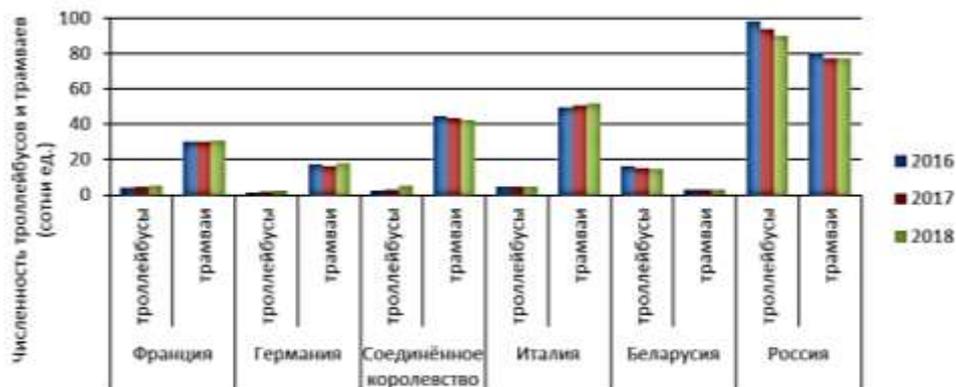


Рисунок 1 – Динамика изменения количества троллейбусов и трамваев в странах Евросоюза и России, 2016-2018 г.г.

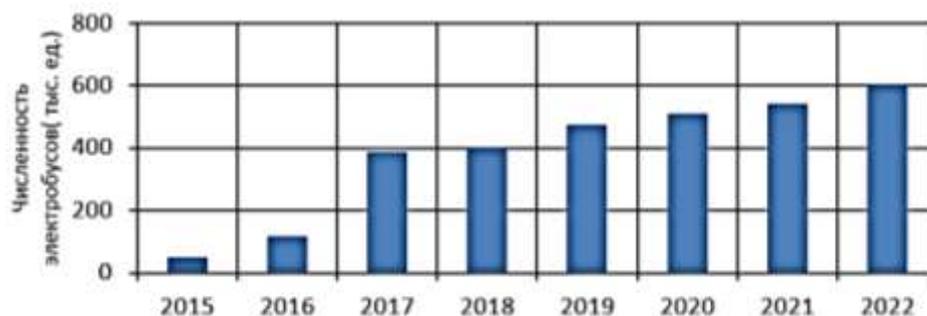


Рисунок 2 – Динамика роста численности электробусов в мире

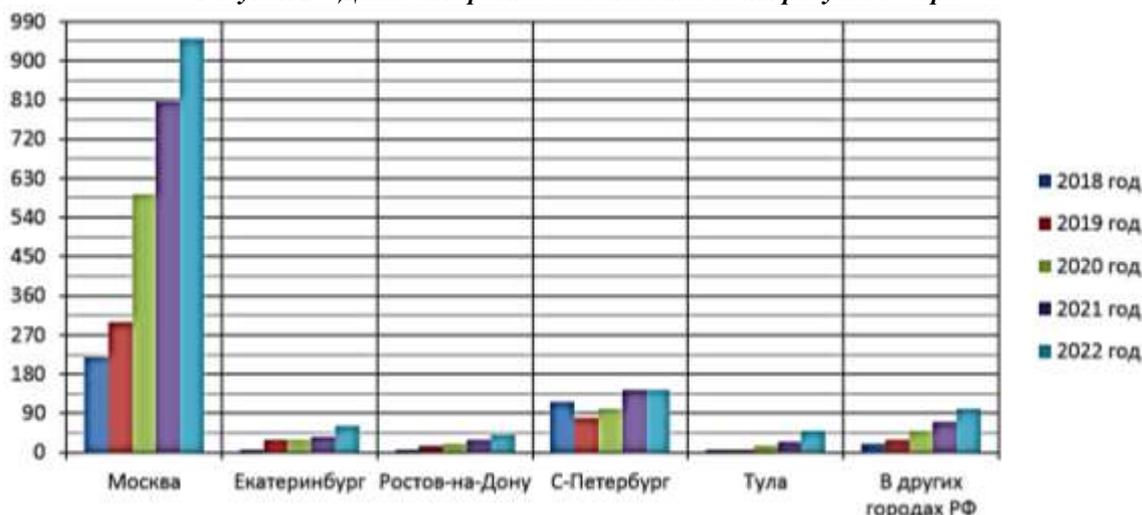


Рисунок 3 – Динамика роста численности электробусов в России

Для раскрытия полного потенциала электробуса с динамической зарядкой необходимо, чтобы часть маршрута их движения проходила по контактной сети, а часть отдельно от неё. В связи с этим требуется создать новые маршруты для их движения или изменить уже существующие, или произвести объединение существующих троллейбусных и автобусных маршрутов, обладающих высокой степенью дублирования [13-15].

### Теория

На основании проведенного анализа троллейбусных и автобусных маршрутов по степени дублирования выявлено, что наиболее оптимальными маршрутами для объединения являются: №9 троллейбусный и №91 автобусный, №6 троллейбусный и №11 автобусный; также целесообразно изменить троллейбусные маршруты №14 и №9 [16].

Рассмотрим предлагаемые маршруты.

Так, автобусный маршрут №91 на 78 % дублирует троллейбусный маршрут №9. Ав-

тобусный маршрут №91 – кольцевой, длиной 9,14 км, позволяет быстро добраться до главных остановок в Бежицком районе (Линия-3, БМЗ, БУМ-сити, БГТУ) от нового микрорайона «Деснаград». На маршруте используется достаточно малое число автобусов, поэтому интервал их движения достаточно большой (около 35 мин).

Троллейбусный маршрут №9 относится к линейным, с длиной в прямом направлении 11,27 км и 11,35 км в обратном. Маршрут проходит практически через весь Бежицкий район, интервал движения составляет 25 минут, на маршруте работает 9 троллейбусов. Одним из недостатков применяя троллейбусов на маршруте является высокий процент износа подвижного состава, что приводит к частому выходу их из строя и, как следствие, увеличению интервала движения (до 50 минут).

Так как эти два маршрута являются дублирующими, их можно объединить (рис. 4). Однако, часть пути от микрорайона Деснаград до кольцевой развязки, расположенной на пересечении улиц Речной и Бежицкой троллейбус проехать не сможет, так как там отсутствует контактная сеть, потому целесообразно на этом маршруте использовать автобус или электробус. Длина нового маршрута составляет 10,5 км в прямом направлении и 10,3 км в обратном.



Рисунок 4 – Предлагаемая схема движения электробуса: а – прямой, б – обратный

Троллейбусный маршрут №6 дублирует автобусный маршрут №11 на 94 %, целесообразно их объединение. Длина автобусного маршрута №11 составляет 27,2 км в прямом направлении, и 26,7 в обратном. Автобусный маршрут обслуживают 25 машин, он проходит через три района Брянска (Бежицкий, Советский и Володарский), интервал движения автобусов составляет 15 минут.

Длина троллейбусного маршрута №6 составляет 18,1 км в прямом и 18,3 км в обратном направлении, он обслуживается 16 троллейбусами.

Для объединения этих двух маршрутов необходимо организовать движение через новый микрорайон «Десноград», кольцо на улице Литейная и 10 микрорайон. Длина маршрута состоит 33,2 км в прямом направлении и 33,5 км в обратном (рис. 5).

Длина троллейбусного маршрут № 9 составляет 11,4 км, он проходит через Бежицкий район, обслуживается маршрут 9 троллейбусами. С целью его совершенствования предлагается организовать движение по ул. 22 съезда КПСС и по ул. Камозина (рис. 6), что позволит

сделать данный маршрут немного уникальным. Длина маршрута составит 11,5 км в прямом направлении и 11,4 км в обратном.

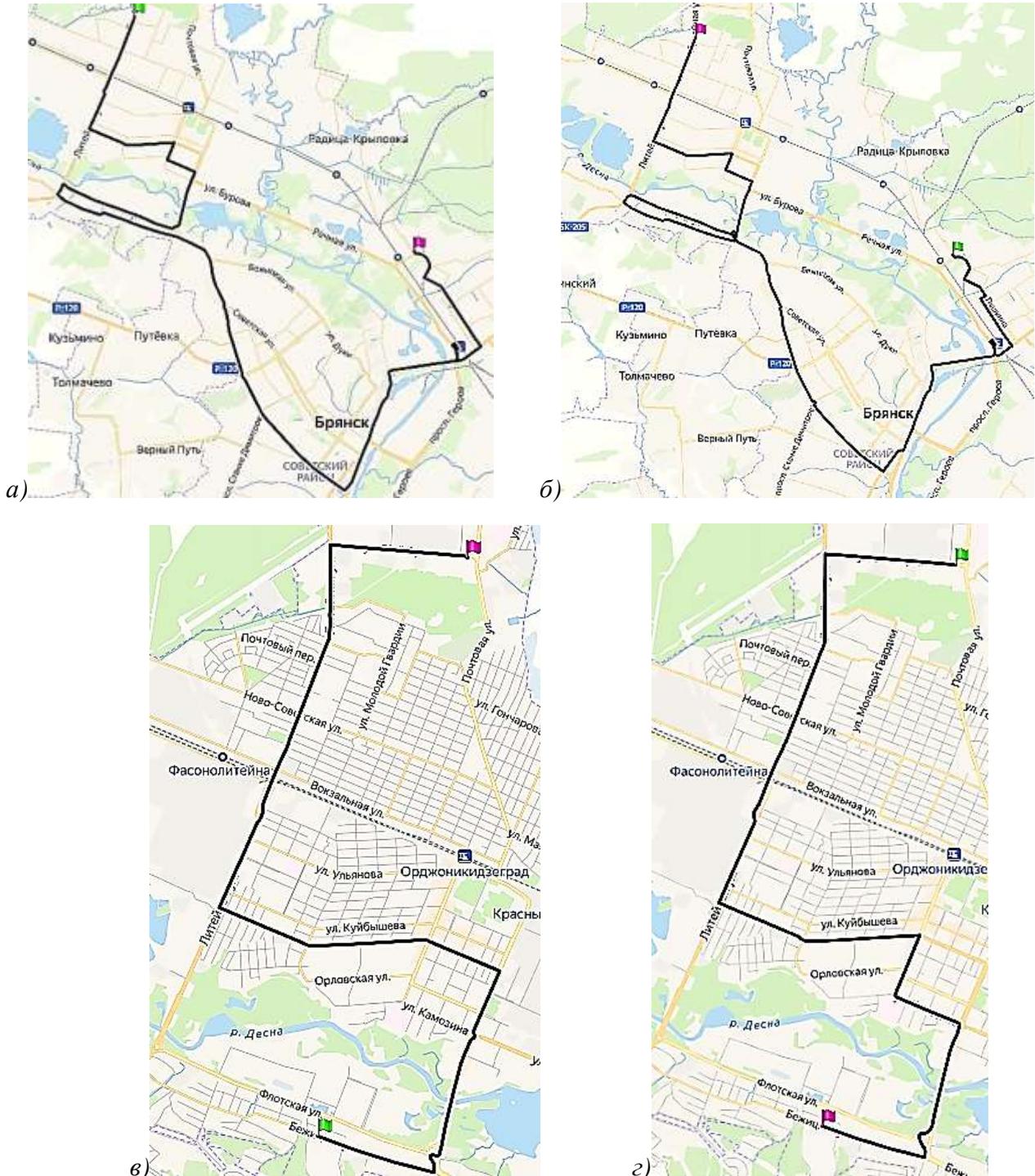


Рисунок 5 – Предлагаемая схема движения электробуса: а – прямой, б – обратный, в – прямой, г – обратный

Троллейбусный маршрут №14 имеет длину 14,2 км в прямом направлении и 14,7 км в обратном. На нём работают 13 машин. Перевозки осуществляются по Советскому району г.Брянска, проходит через наиболее загруженные остановки: Памятник Летчикам, Полтник, Площадь Партизан, Площадь Ленина и Курган Бесмертия. К недостаткам маршрута можно отнести то, что он не охватывает новый микрорайон г. Брянска, расположенный на территории старого аэропорта. Поэтому целесообразно организовать движение троллейбусов через ул. Советскую и ул.Крахмалева вместо ул.Авиационной. Длина получившегося

маршрута (рис. 6) составляет 14,8 км в прямом направлении и 15,3 км в обратном.

Характеристики существующих и предлагаемых маршрутов представлены в таблице.

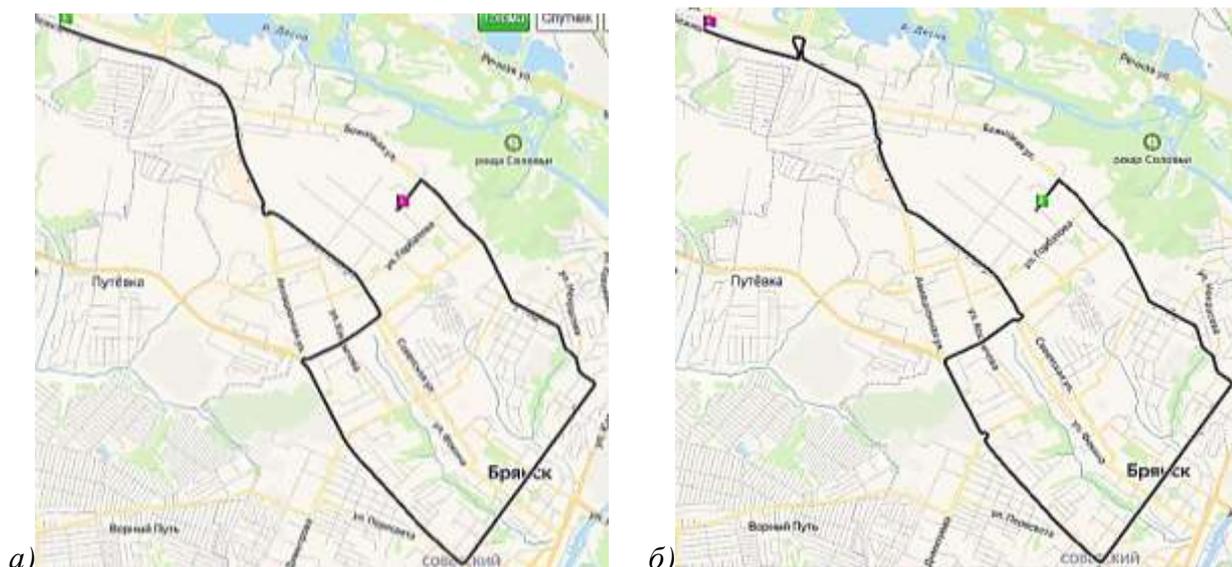


Рисунок 6 – Предлагаемая схема движения электробуса: а – прямой, б – обратный

Таблица 1 – Характеристика существующих и планируемых маршрутов

	Существующие						Предлагаемые			
	№ троллейбусного маршрута			№ автобусного маршрута			Длина совпадающей части маршрута	% совпадения маршрутов	Длина, км, прямой/обратный	Кол-во, шт.
	Длина, км, прямой/обратный	Кол-во, шт.	% совпадения	Длина, км, прямой/обратный	Кол-во, шт.	% совпадения				
1	Троллейбусный маршрут №9 11,4/11,3	9		Автобусный маршрут №91 4,65/4,41	3		2,01/3,42	43,23/77,55	10,5/10,3	10
2	Троллейбусный маршрут №6 18,1/18,3			Автобусный маршрут №11 27,2/26,7	25		17,35/17,3		33,2/33,5	25
3	Троллейбусный маршрут №9 11,4/11,3	9					-	-	11,5/11,4	10
4	Троллейбусный маршрут №14 14,2/14,7	12					-	-	14,8/15,3	13

### Результаты и обсуждение

В современных условиях, когда качество жизни людей является одним из главных приоритетов, важным является не только экономическая, но и экологическая составляющие, поэтому целесообразно для предлагаемых маршрутов рассчитать экологическую и экономическую эффективность [17-22]. Учитывая, что при создании данных маршрутов имеются участки с отсутствующей контактной сетью, то рассмотрим применение электробуса УТТЗ-6241.01 «Горожанин» и автобуса ЛиАЗ-4292 с разными типами топлива: дизельное топливо и природный газ.

Суммарные выбросы двигателей применяемых автобусов (экологический класс EURO-5) представлены на рисунках 7 и 8. Выбросы от применения электробусов отсутствуют.

Эффективность применения транспортных средств является одним из главных показателей конкурентоспособности электрического транспорта [20-22], поэтому кроме экологических достоинств необходимо учитывать и экономические показатели. Результаты расчета предлагаемых маршрутов (рис. 9) показывают, что электробус УТТЗ-6241.01 «Горожанин» значительно выгоднее в работе, чем автобуса ЛиАЗ 4292.

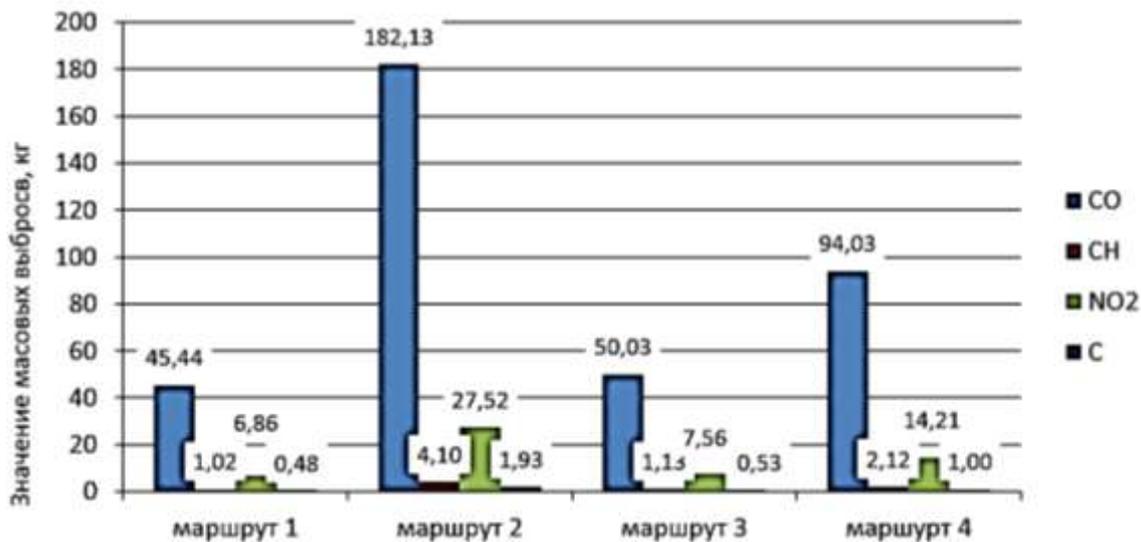


Рисунок 7 – Годовые массовые выбросы автобусов, работающих на дизельном топливе

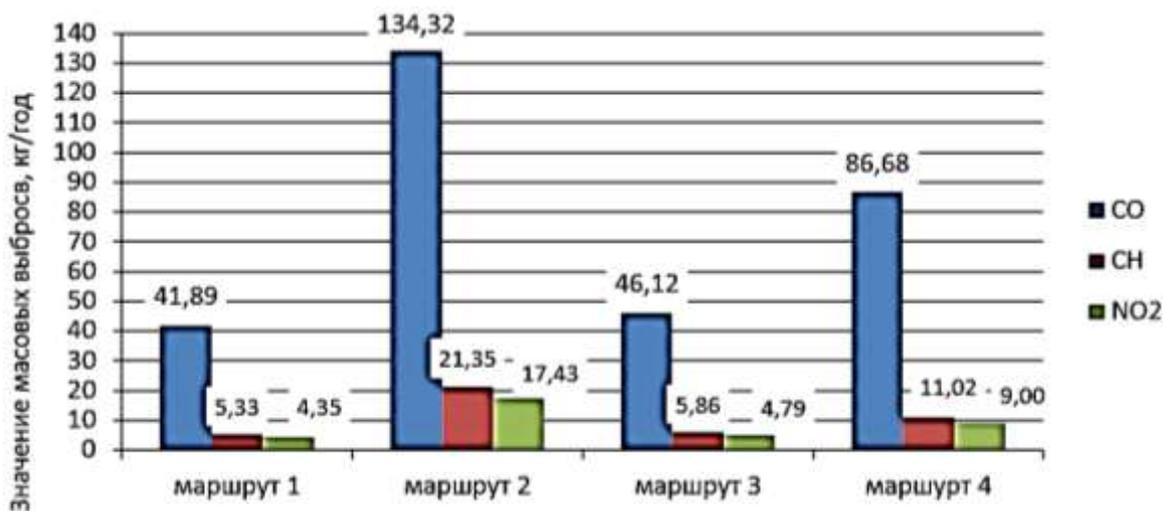


Рисунок 8 – Годовые массовые выбросы автобусов, работающих на природном газе

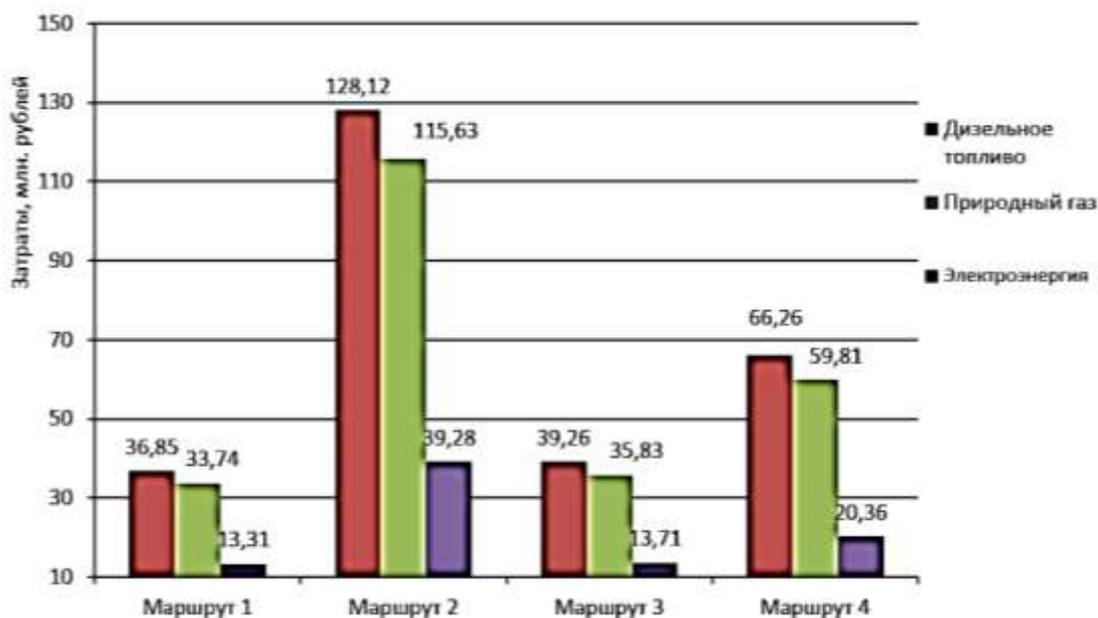


Рисунок 9 – Сравнение общих эксплуатационных затрат автобуса ЛиАЗ 4292 и электробуса УТТЗ-6241.01 «Горожанин»

Таким образом, применение электробусов на предлагаемых маршрутах позволит не только улучшить качество транспортного обслуживания населения при одновременном снижении загрязнения окружающей среды, но и значительно снизит эксплуатационные расходы, что позволит повысить эффективность муниципального транспорта г. Брянска.

### **Выводы**

Совершенствование маршрутной сети пассажирского транспорта является важной задачей, от решения которой зависит качество транспортного обслуживания населения в условиях городской среды.

Снижение вредных выбросов возможно достичь путем применения электрического транспорта, а также снижения уровня дублирования существующих маршрутов.

Применение электробусов позволит также снизить экономические затраты на содержание подвижного состава и не повышать тарифы на проезд для горожан.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Basso Leonardo, Navarro Matias, Silva Hugo. Public transport and urban structure. *Economics of Transportation*. 28. 100232. 2021. doi:10.1016/j.ecotra.2021.100232.
2. Ušpalytė-Vitkūnienė Rasa, Ranceva Justina. Accessibility of Regional Public Transport. 2022 doi:10.1007/978-3-030-94774-3\_70.
3. Ibraeva A, João Figueira de Sousa. Marketing of public transport and public transport information provision. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 162. 121-128. 2014. DOI: 10.1016/j.sbspro. 2014.12.192.
4. Сиваков В.В., Юрков Ю.А. Сравнительный анализ способов зарядки электробусов // *Химия. Экология. Урбанистика: Материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет. 2023. С. 15-17.
5. Ковалев Р.Н., Боярский С.Н. Экономика и управление пассажирскими перевозками на автомобильном транспорте. Екатеринбург: УГЛТУ, 2015. 137 с.
6. Сиваков В.В., Камынин В.В., Тихомиров П.В. Совершенствование городских пассажирских перевозок (на примере г. Брянска) // *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. 2020. №4. С. 61-69. doi: 10.15593/24111678/2020.04.07.
7. Терентьев В.В. Улучшение транспортного обслуживания населения города // *Транспортное дело России*. 2017. №4. С. 91-92.
8. Owais Mahmoud, Moussa Ghada. Optimal circular bus routes planning for transit network design problem in urban areas. *Journal of engineering sciences*. 41. 1447-1466. 2013. doi: 10.21608/JESAUN.2013.114867.
9. Özgün K, Günay M, Basaran B et al. Analysis of Public Transportation for Efficiency. 2021. doi: 10.1007/978-3-030-79357-9\_63.
10. Кузнецова Л.П., Семенихин Б.А., Алтухов А.Ю. Совершенствование организации пассажирских перевозок на маршрутах г. Курска // *Мир транспорта и технологических машин*. 2016. №2(53). С. 98-104.
11. Караева М.К., Напхоненко Н.В., Солодовченко И.Ю. Построение модели организации пассажирских перевозок в городских агломерациях // *Вестник Южно-Российского государственного технического университета*. Серия: Социально-экономические науки. 2022. Т.15. №5. С. 147-158.
12. Брянская городская администрация [Электронный ресурс]. URL: <https://bga32.ru/transport/koncepciya-razvitiya-transporta-do-2025-goda/>. Дата доступа 20.01.2023.
13. Сиваков В.В., Тихомиров П.В., Камынин В.В., Сеницын С.С. Анализ результатов обследования пассажиропотоков на отдельных маршрутах коммерческого транспорта в г. Брянске // *Мир транспорта и технологических машин*. 2020. №4(71). С. 46-53. doi: 10.33979/2073-7432-2020-71-4-46-53.
14. Сиваков В.В., Тихомиров П.В., Камынин В.В., Боровая К.С. Оценка транспортного обслуживания населения г. Брянска // *Мир транспорта и технологических машин*. 2023. №2(81). С. 58-66. doi 10.33979/2073-7432-2023-2(81)-58-66.
15. Сиваков В.В., Камынин В.В., Тихомиров П.В. Совершенствование транспортного обслуживания в городе Брянске // *Мир транспорта*. 2022. Т. 20. №4(101). С. 105-110. doi: 10.30932/1992-3252-2022-20-4-9.
16. Сиваков В.В., Боровая К.С., Юрков Е.А. Совершенствование троллейбусных перевозок в г. Брянске (на примере маршрутов №91 и 9) // *Мир транспорта и технологических машин*. 2023. №1-1(80). С. 95-102. doi: 10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-95-102.
17. Shankaran R, Rajendran L. Intelligent Transport Systems and Traffic Management. 2022. doi: 10.1201/9781003287186-6.
18. Гулидова А.В., Крылатов А.Ю. Оптимизация маршрутных сетей общественного транспорта // *Процессы управления и устойчивость*. 2019. Т. 6. №1. С. 414-418.
19. Algin V.B. Electrification of Urban Transport. Basic Stages in Creating Electric Buses Fleet // *Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials*. 2018. №3(44). P. 5-17.

20. Горбунова А.Д. Анализ факторов, влияющих на выбор городского регулярного маршрута для ввода электробуса // Вестник гражданских инженеров. 2021. №4(87). С. 127-133. DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-4-127-133.

21. Муфтахитдинов Т.И. Электрический транспорт - троллейбусы и электробусы // Вестник Сибирского Отделения Академии Военных Наук. 2021. №61. С. 64-68.

22. Дубровин И., Дубровин Е. Экономика логистики: электробус или традиционный автобус? // Логистика. 2019. №4(149). С. 48-51.

**Сиваков Владимир Викторович**

Брянский государственный инженерно-технологический университет

Адрес: 241037, Россия, г. Брянск, пр. Станке Димитрова, 3

К.т.н., доцент кафедры «Транспортно-технологические машины и сервис», заместитель директора по учебной работе Института лесного комплекса, ландшафтной архитектуры, транспорта и экологии

E-mail: sv@bgitu.ru

**Юрков Евгений Андреевич**

Брянский государственный инженерно-технологический университет

Адрес: 241037, Россия, г. Брянск, пр. Станке Димитрова, 3

Магистрант

E-mail: iurkow.j@ya.ru

**Боровая Кристина Сергеевна**

Брянский государственный инженерно-технологический университет

Адрес: 241037, Россия, г. Брянск, пр. Станке Димитрова, 3

Аспирант

E-mail: kristina260319@mail.ru

---

V.V. SIVAKOV, E.A. YURKOV, K.S. BOROVAYA

## IMPROVEMENT OF THE PASSENGER TRANSPORTATION IN THE TOWN OF BRYANSK USING ELECTRIC TRANSPORT

***Abstract.** The paper considers the state of the issue of improving the route network of the town of Bryansk and possible directions of their improvement. It analyses the variants of existing bus and trolleybus routes and reveals the routes with high degree of duplication. It is suggested to change the duplicated routes using trolleybuses with the dynamic charging and having a sufficiently large autonomous travel reserve. The possible reduction of total mass emissions of exhaust gases and significant reduction of operating costs in case of application of trolleybuses with dynamic charging is determined.*

***Keywords:** passenger transportation, bus, trolleybus, improvement of transport processes, organization of transportation*

### BIBLIOGRAPHY

1. Basso Leonardo, Navarro Matias, Silva Hugo. Public transport and urban structure. Economics of Transportation. 28. 100232. 2021. doi:10.1016/j.ecotra.2021.100232.
2. Uopalyt-Vitkonien Rasa, Ranceva Justina. Accessibility of Regional Public Transport. 2022 doi:10.1007/978-3-030-94774-3\_70.
3. Ibraeva A, Joo Figueira de Sousa. Marketing of public transport and public transport information provision. Procedia - Social and Behavioral Sciences. 162. 121-128. 2014. DOI: 10.1016/j.sbspro. 2014.12.192.
4. Sivakov V.V., Yurkov Yu.A. Sravnitel'nyy analiz sposobov zaryadki elektrobusev // Himiya. Ekologiya. Urbanistika: Materialy vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Perm': Permskiy natsional'nyy issledovatel'skiy politekhnicheskii universitet. 2023. S. 15-17.
5. Kovalev R.N., Boyarskiy S.N. Ekonomika i upravlenie passazhirskimi perevozkami na avtomobil'nom transporte. Ekaterinburg: UGLTU, 2015. 137 s.
6. Sivakov V.V., Kamynin V.V., Tikhomirov P.V. Sovershenstvovanie gorodskikh passazhirskikh perevozk (na primere g. Bryanska) // Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya. 2020. №4. S. 61-69. doi: 10.15593/24111678/2020.04.07.
7. Terent'ev V.V. Uluchshenie transportnogo obsluzhivaniya naseleniya goroda // Transportnoe delo Rossii. 2017. №4. S. 91-92.

8. Owais Mahmoud, Moussa Ghada. Optimal circular bus routes planning for transit network design problem in urban areas. *Journal of engineering sciences*. 41. 1447-1466. 2013. doi: 10.21608/JESAUN.2013.114867.
9. Ozgn K, Gonay M, Basaran B et al. Analysis of Public Transportation for Efficiency. 2021. doi: 10.1007/978-3-030-79357-9\_63.
10. Kuznetsova L.P., Semenikhin B.A., Altukhov A.YU. Sovershenstvovanie organizatsii passazhirskikh perevozok na marshrutakh g. Kurska // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2016. №2(53). S. 98-104.
11. Karaeva M.K., Napkhonenko N.V., Solodovchenko I.Yu. Postroenie modeli organizatsii passazhirskikh perevozok v gorodskikh aglomeratsiyakh // *Vestnik Yuzhno-Rossiyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Sotsial'no-ekonomicheskie nauki*. 2022. T.15. №5. S. 147-158.
12. Bryanskaya gorodskaya administratsiya [Elektronnyy resurs]. URL: <https://bga32.ru/transport/koncepciya-razvitiya-transporta-do-2025-goda/>. Data dostupa 20.01.2023.
13. Sivakov V.V., Tikhomirov P.V., Kamynin V.V., Sinitsyn S.S. Analiz rezul'tatov obsledovaniya passazhiropotokov na otdel'nykh marshrutakh kommercheskogo transporta v g. Bryanske // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2020. №4(71). S. 46-53. doi: 10.33979/2073-7432-2020-71-4-46-53.
14. Sivakov V.V., Tikhomirov P.V., Kamynin V.V., Borovaya K.S. Otsenka transportnogo obsluzhivaniya naseleniya g. Bryanska // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2023. №2(81). S. 58-66. doi 10.33979/2073-7432-2023-2(81)-58-66.
15. Sivakov V.V., Kamynin V.V., Tikhomirov P.V. Sovershenstvovanie transportnogo obsluzhivaniya v gorode Bryanske // *Mir transporta*. 2022. T. 20. №4(101). S. 105-110. doi: 10.30932/1992-3252-2022-20-4-9.
16. Sivakov V.V., Borovaya K.S., Yurkov E.A. Sovershenstvovanie trolleybusnykh perevozok v g. Bryanske (na primere marshrutov №91 i 9) // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2023. №1-1(80). S. 95-102. doi: 10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-95-102.
17. Shankaran R, Rajendran L. Intelligent Transport Systems and Traffic Management. 2022. doi: 10.1201/9781003287186-6.
18. Gulidova A.V., Krylatov A.Yu. Optimizatsiya marshrutnykh setey obshchestvennogo transporta // *Protsessy upravleniya i ustoychivost'*. 2019. T. 6. №1. S. 414-418.
19. Algin V.B. Electrification of Urban Transport. Basic Stages in Creating Electric Buses Fleet // *Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials*. 2018. №3(44). P. 5-17.
20. Gorbunova A.D. Analiz faktorov, vliyayushchikh na vybor gorodskogo regul'yarnogo marshruta dlya vvoda elektrobusa // *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2021. №4(87). S. 127-133. DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-4-127-133.
21. Muftakhitdinov T.I. Elektricheskiy transport - trolleybusy i elektrobuses // *Vestnik Sibirskogo Otdeleniya Akademii Voennykh Nauk*. 2021. №61. S. 64-68.
22. Dubrovin I., Dubrovin E. Ekonomika logistiki: elektrobus ili traditsionnyy avtobus? // *Logistika*. 2019. №4(149). S. 48-51.

**Sivakov Vladimir Viktorovich**

Bryansk State University of Engineering and Technology  
Address: 241037, Russia, Bryansk, Stanke Dimitrova Ave., 3  
Candidate of technical sciences  
E-mail: sv@bgitu.ru

**Yurkov Evgeny Andreevich**

Bryansk State University of Engineering and Technology  
Address: 241037, Russia, Bryansk, Stanke Dimitrova Ave., 3  
Master's student  
E-mail: iurkow.j@ya.ru

**Borovaya Kristina Sergeevna**

Bryansk State University of Engineering and Technology  
Address: 241037, Russia, Bryansk, Stanke Dimitrova Ave., 3  
Graduate student  
E-mail: kristina260319@mail.ru

Научная статья

УДК 656.135.8

doi:10.33979/2073-7432-2024-1-1(84)-22-29

А.Н. НОВИКОВ, С.А. ЖЕСТКОВА

## ЗАДАЧА МАРШРУТИЗАЦИИ КОЛЬЦЕВЫХ СХЕМ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА ФИКТИВНЫХ УЗЛОВ И ВЕТВЕЙ

**Аннотация.** Рассмотрено решение задачи маршрутизации транспорта при развозке грузов методом фиктивных узлов и ветвей, обеспечивающего возможность многократного посещения грузового терминала и последовательное посещения конкретных точек торговых предприятий при организации кольцевых маршрутов. Метод заключается в создании одного общего фиктивного кольцевого маршрута, проходящего через все пункты транспортной сети один раз. Приведен численный пример решения задачи на основе предложенной методики.

**Ключевые слова:** распределительный центр, торговая сеть, метод, матрица, маршрут, оптимальность

### Введение

Проведенные исследование показали, что использование методики ветвей и границ (ВиГ) не позволяет точно описать процесс доставки груза [1-3]. Для точного решения задачи был разработан новый метод Фиктивных узлов и ветвей (ФУВ). Особенностью данного метода является, возможность многократного посещения грузовых терминалов, а так же обеспечивает последовательное посещение на маршруте торговых предприятий [4-6].

### Материал и методы

Рассмотрим разработанную методику при решении задачи.

1. Составляем исходную матрицу.
2. Составляем матрицу приведения и оценки согласно методике ВиГ.
3. Далее осуществляется выполнение операций приведения и оценки до тех пор, пока вычеркиваемая ветвь не станет очевидной.

Проведённые исследования показали, что решение задачи методом ВиГ не всегда дает точное решение при управлении перевозочным процессом.

### Теория

Для решения указанного недостатка предлагается использовать внутренние и внешние узлы фиктивные узлы. Внешние фиктивные узлы позволяют, определять очередность проезда вершин транспортного графа. Внутренние узлы позволяют посещать вершины транспортного графа несколько раз. Принципиальная схема ввода внутреннего фиктивного узла представлена на рисунке 1.

С этой целью создается первая расчетная фиктивная матрица путем введения в расчетную матрицу строки и столбца с вычеркнутым узлом. Если столбца с номером вычеркнутой вершины нет в матрице, то фиктивная вершина не создается. Аналогично формируем вторую фиктивную матрицу, чтобы обеспечить для посещения еще раз вершину вычеркнутого узла. Далее расчет повторяется согласно методике ВиГ.

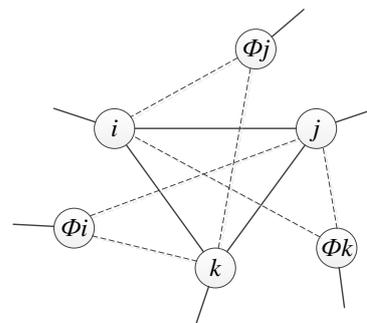


Рисунок 1 – Схема ввода фиктивных узлов

Все операции разработанной методики, можно записать в виде блок-схемы (рис. 2).



Рисунок 2– Блок-схема решение задачи маршрутизации методом ФУВ

### **Расчет**

Задана схема дислокации торговых точек и распределительных центров на транспортной сети с фиктивными транспортными узлами, между торговыми точками (рис. 2). Приведены кратчайшие расстояния между пунктами торговых точек и распределительных центров. На рисунке 3 распределительные центры расположены в квадратах, а торговые сети – в кружках.

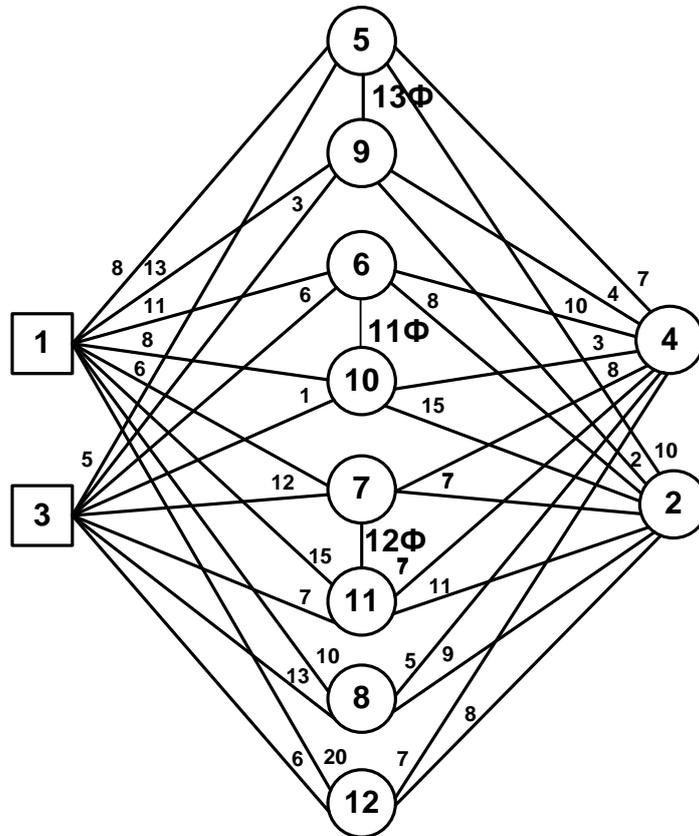


Рисунок 3 - Схема дислокации распределительных центров и торговых точек с фиктивными транспортными узлами на транспортной сети

Фиктивная матрица весов приведена в таблице 1.

В качестве примера, приводим кратчайшее описание только одного оптимального хода из всего дерева решений.

Таблица 1 - Фиктивная матрица весов

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	11Ф	12Ф	13Ф
1					8	11	6	10	13	8	15	20			
2					10	8	7	9	2	15	11	8			
3					15	6	12	13	3	1	7	6			
4					7	10	8	5	4	3	2	7			
5	8	10	15	7											7
6	11	8	6	10									7		
7	6	7	12	8										14	
8	10	9	13	5											
9	13	2	3	4											7
10	8	15	1	3									7		
11	15	11	7	2										14	
12	20	8	6	7											
11Ф						7				7					
12Ф							14				14				
13Ф					7				7						

Для получения матрицы приведения, вычитаем минимальный элемент в каждой строке и столбце. В результате получаем приведенную матрицу (табл. 2).

Таблица 2 - Матрица приведения 1

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	11Ф	12Ф	13Ф
1					2	5	0	1	7	2	9	9			
2					8	6	5	4	0	13	9	1			
3					14	5	11	9	2	0	6	0			
4					5	8	6	0	2	1	1	0			
5	1	3	8	0											0
6	5	2	0	4									0		
7	0	1	6	2										0	
8	5	4	8	0											
9	11	0	1	2											5
10	7	14	0	2									4		
11	13	9	5	0										4	
12	14	2	0	1											
11Ф						0				0					
12Ф							0				0				
13Ф					0				0						

В таблице 3 приведена оценочная матрица. В ней вычеркиваем ветвь 5-13Ф с оценкой 5.

Переходим к матрице, в показанной в таблице 4, в которой удаляется звено 13Ф-9 с оценкой ∞. Далее включается в маршрут звено 7-1 с оценкой 6.

Таблица 3 - Оценочная матрица 1

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	11Ф	12Ф	13Ф
1					2	5	0 <sup>1</sup>	1	7	2	9	9			
2					8	6	5	4	0 <sup>1</sup>	13	9	1			
3					14	5	11	9	2	0 <sup>0</sup>	6	0 <sup>0</sup>			
4					5	8	6	0 <sup>1</sup>	2	1	1	0 <sup>0</sup>			
5	1	3	8	0 <sup>0</sup>											0 <sup>5</sup>
6	5	2	0 <sup>0</sup>	4									0 <sup>4</sup>		
7	0 <sup>1</sup>	1	6	2										0 <sup>4</sup>	
8	5	4	8	0 <sup>4</sup>											
9	11	0 <sup>2</sup>	1	2											5
10	7	14	0 <sup>2</sup>	2									4		
11	13	9	5	0 <sup>4</sup>										4	
12	14	2	0 <sup>1</sup>	1											
11Ф						0 <sup>5</sup>				0 <sup>0</sup>					
12Ф							0 <sup>0</sup>				0 <sup>1</sup>				
13Ф					0 <sup>2</sup>				0 <sup>0</sup>						

Таблица 4 - Матрица приведения 2

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	11Ф	12Ф
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1					0 <sup>3</sup>	5	0 <sup>1</sup>	1	7	2	9	9		
2					6	6	5	4	0 <sup>1</sup>	13	9	1		
3					12	5	11	9	2	0 <sup>0</sup>	6	0 <sup>0</sup>		
4					3	8	6	0 <sup>1</sup>	2	1	1	0 <sup>0</sup>		
6	5	2	0 <sup>0</sup>	4									0 <sup>4</sup>	
7	0 <sup>6</sup>	1	6	2										0 <sup>4</sup>
8	5	4	8	0 <sup>4</sup>										

Окончание таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
9	11	0 <sup>2</sup>	1	2										
10	7	14	0 <sup>2</sup>	2									4	
11	13	9	5	0 <sup>4</sup>										4
12	14	2	0 <sup>1</sup>	1										
11 Ф							0 <sup>5</sup>				0 <sup>0</sup>			
12 Ф								0 <sup>0</sup>				0 <sup>1</sup>		
13 Ф						∞				0∞				
					2									

Таблица 5 - Матрица приведения 3

№	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	11Ф	12Ф	
1					0 <sup>3</sup>	5	0 <sup>1</sup>	1	2	9	9			
2					5	5	4	3	12	8	0 <sup>3</sup>			1
3					12	5	11	9	0 <sup>0</sup>	6	0 <sup>0</sup>			
4					3	8	6	0 <sup>1</sup>	1	1	0 <sup>0</sup>			
6	5	2	0 <sup>0</sup>	4								0 <sup>4</sup>		
7	0 <sup>6</sup>	1	6	2									0 <sup>4</sup>	
8	5	4	8	0 <sup>4</sup>										
9	11	0 <sup>2</sup>	1	2										
10	7	14	0 <sup>2</sup>	2								4		
11	13	9	5	0 <sup>4</sup>									4	
12	14	2	0 <sup>1</sup>	1										
11Ф						0 <sup>5</sup>			0 <sup>0</sup>					
12Ф							0 <sup>0</sup>			0 <sup>1</sup>				
					2									

В результате получаем матрицу меньшего размера (табл. 6), в которой блокируем ячейку 1-7 и вычеркиваем ветвь, имеющую наибольшую оценку 11-12Ф.

Таблица 6 - Матрица приведения 4

№	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	11Ф	12Ф
1				0 <sup>3</sup>	5	∞	1	2	9	9		
2				5	5	4	3	12	8	0 <sup>3</sup>		
3				12	5	11	9	0 <sup>0</sup>	6	0 <sup>0</sup>		
4				3	8	6	0 <sup>1</sup>	1	1	0 <sup>0</sup>		
6	2	0 <sup>0</sup>	4								0 <sup>4</sup>	
8	4	8	0 <sup>4</sup>									
9	0 <sup>2</sup>	1	2									
10	14	0 <sup>2</sup>	2								4	
11	9	5	0 <sup>4</sup>									0∞
12	2	0 <sup>1</sup>	1									
11Ф					0 <sup>5</sup>			0 <sup>0</sup>				
12Ф						0 <sup>0</sup>			0 <sup>1</sup>			
												4

**Результаты и обсуждение**

В процессе решения задачи включаем в маршрут ветви: 11Ф-6, 10-11Ф, 8-4, 12Ф-7, 4-11, 1-5, 2-8, 9-2, 3-12 и 6-3.

Далее для решения задачи создается фиктивная матрица при помощи ввода в вершину 3 фиктивного узла 1003, что позволяет посетить вершину транспортного графа номер 3 еще раз и доставить груз в торговое предприятие номер 10 и еще раз в торговые предприятия номер 12. Для этого вычеркиваются ветви 1003-10 и 12-1003.

В результате выполненного решения получаем фиктивный граф оптимального маршрута (рис. 4).

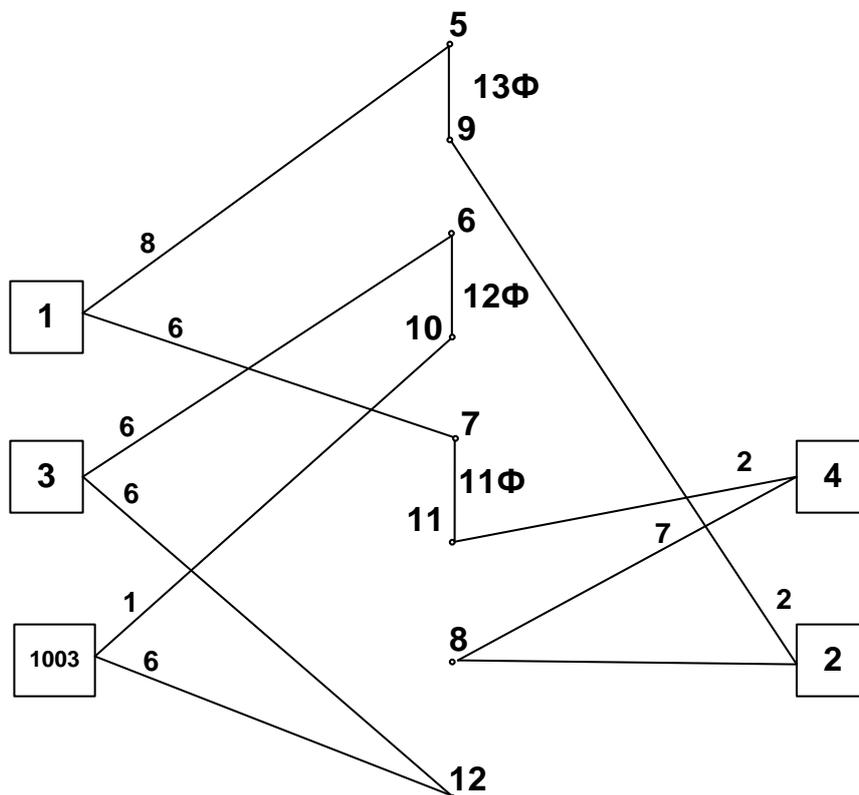


Рисунок 4 - Фиктивный граф оптимального маршрута

### Выводы

Рассмотрено решение задачи маршрутизации при развозке грузов на основе использования разработанной методики фиктивных узлов и ветвей, обеспечивающая возможность многократного посещения вершин транспортного графа за счет ввода фиктивных узлов при организации кольцевых маршрутов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Литл Дж., Мурти К., Суини Д., Карел К. Алгоритм для решения задачи о коммивояжере // Экономика и математические методы. 1965. Т. 1. Вып. 1. С. 94-107.
2. Кожин А.П., Мезенцев В.Н. Математические методы планирования и управления грузовыми автомобильными перевозками. М.: Транспорт, 1994. 304 с.
3. Пожидаев М.С. Алгоритмы решения задачи маршрутизации транспорта: автореф. на соиск. ученой степ. канд. техн. наук: 05.13.18 Томск, 2010. 16 с
4. Подшивалова К.С., Домке Э.Р., Подшивалов С.Ф., Жесткова С.А. Использование фиктивных узлов для определения оптимальной комбинации маршрутов с совместным центром // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. 2011. №2(18). С. 81-90.
5. Домке Э.Р., Жесткова С.А., Акимова В.Ю. Особенности решения задачи маршрутизации транспорта методом ветвей и границ // Вестник МАДИ (ГТУ). 2012. №2(29). С. 76-79.
6. Домке Э.Р., Жесткова С.А. Совершенствование организации перевозочного процесса грузов автомобилями: моногр. Пенза: ПГУАС, 2013. 120 с.
7. Черкасов А.Г. Экономика: практические задачи и решения: учеб. пособие. СПб.: СПб. ГТУ. 2002. 50 с.
8. Калиткин Н.Н. Численные методы: учеб. пособие. 2-е изд., исправленное. - СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 592 с.

9. Булатова О.Ю. Определение основных функций ИТС при организации дорожного движения во время проведения городских массовых мероприятий // Мир транспорта и технологических машин. 2022. №3-2(78). С. 63-68. DOI 10.33979/2073-7432-2022-2(78)-3-63-68.
10. Новиков А.Н., Новиков И.А., Шевцова А.Г. Современная оценка проблемы безопасности дорожного движения. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. 108с. ISBN 978-5-361-00908-4.
11. Новиков А.Н., Шевцова А.Г. Безопасное и эффективное управление транспортными потоками в городской транспортной системе. Москва: Академия, 2022. 205 с.
12. Васильев А.П. Эксплуатация автомобильных дорог: учеб. для студ. высших учеб. заведений. В 2 т. М.: Издательский центр «Академия», 2010. 320 с.
13. Жанказиев С.В. Разработка проектов интеллектуальных транспортных систем: учеб. пособие. М.: МАДИ, 2016. 22 с.
14. Жанказиев С.В. Интеллектуальные транспортные системы: учеб. пособие. М.: МАДИ, 2016. – 14 с.
15. Основы организации дорожного движения: учеб. пособие / А.Н. Новиков, Л.Е. Кущенко, С.В. Кущенко, А.С. Камбур. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. 170 с.
16. Кулев А.В., Минаева Е.М. Проблемы повышения качества в сфере перевозок пассажиров // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №3-2(82). С. 100-105. DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-2(82)-100-105.
17. Новиков А.Н., Новиков И.А., Шевцова А.Г. Современная оценка проблемы безопасности дорожного движения. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. 108 с. ISBN 978-5-361-00908-4.
18. Petrova E. Natural hazard impacts on transport infrastructure in Russia [Электронный ресурс] // Natural Hazards and Earth System Sciences. Vol. 20. 2020. P. 1969-1983. URL: <https://doi.org/10.5194/nhess-20-1969-2020>.
19. Zyryanov V., Feofilova A. Simulation of Evacuation Route Choice // Transportation Research Procedia: 12th International Conference «Organization and Traffic Safety Management in Large Cities». Vol. 20. Saint-Petersburg: Elsevier B.V. 2017. P. 740-745. DOI 10.1016/j.trpro.2017.01.119.
20. Петров А.И., Евтюков С.А. Концептуальные смыслы энтропийного анализа состояния безопасности дорожного движения в разномасштабных автотранспортных системах // Мир транспорта и технологических машин. 2022. №3-4(78). С. 55-62.

**Новиков Александр Николаевич**

Орловский государственный университет им. Тургенева И.С.

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

Д.т.н., профессор

E-mail: novikovan58@bk.ru

**Жесткова Светлана Анатольевна**

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

К.т.н., доцент

E-mail: obd@pguas.ru

---

A.N. NOVIKOV, S.A. ZHESTKOVA

## ROUTING OF RING MOVEMENT SCHEMES BASED ON DUMMY NODES AND BRANCHES

**Abstract.** *The solution of the problem of transport routing in the delivery of goods by the method of fictitious nodes and branches is considered, which ensures the possibility of multiple visits to the cargo terminal and sequential visits to specific points of trading enterprises when organizing ring routes. The method consists in creating one common dummy ring route passing through all points of the transport network once. A numerical example of solving the problem based on the proposed method is given.*

**Keywords:** *distribution center, trading network, method, matrix, route, optimality*

### BIBLIOGRAPHY

1. Litl Dzh., Murti K., Suini D., Karel K. Algoritm dlya resheniya zadachi o kommivoyazhere // Ekonomika i matematicheskie metody. 1965. T. 1. Vyp. 1. S. 94-107.
2. Kozhin A.P., Mezentshev V.N. Matematicheskie metody planirovaniya i upravleniya gruzovymi avto-

mobil'nymi pervozokami. M.: Transport, 1994. 304 s.

3. Pozhidaev M.S. Algoritmy resheniya zadachi marshrutizatsii transporta: avtoref. na soisk. uchenoy step. kand. tekhn. nauk: 05.13.18 Tomsk, 2010. 16 s

4. Podshivalova K.S., Domke E.R., Podshivalov S.F., Zhestkova S.A. Ispol'zovanie fiktivnykh uzlov dlya opredeleniya optimal'noy kombinatsii marshrutov s sovmestnym tsentrom // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. 2011. №2(18). S. 81-90.

5. Domke E.R., Zhestkova S.A., Akimova V.YU. Osobennosti resheniya zadachi marshrutizatsii transporta metodom vetvey i granits // Vestnik MADI (GTU). 2012. №2(29). S. 76-79.

6. Domke E.R., Zhestkova S.A. Sovershenstvovanie organizatsii perevoznogo protsessa грузов avtomobilyami: monogr. Penza: PGUAS, 2013. 120 s.

7. Cherkasov A.G. Ekonomika: prakticheskie zadachi i resheniya: ucheb. posobie. S.Pb.: S.Pb. GTU. 2002. 50 s.

8. Kalitkin N.N. Chislennye metody: ucheb. posobie. 2-e izd., ispravlennoe. - SPb.: BHV-Peterburg, 2011. 592 s.

9. Bulatova O.YU. Opredelenie osnovnykh funktsiy ITS pri organizatsii dorozhnogo dvizheniya vo vremya provedeniya gorodskikh massovykh meropriyatiy // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2022. №3-2(78). S. 63-68. DOI 10.33979/2073-7432-2022-2(78)-3-63-68.

10. Novikov A.N., Novikov I.A., Shevtsova A.G. Sovremennaya otsenka problemy bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya. Belgorod: Belgorodskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskiy universitet im. V.G. Shukhova, 2021. 108s. ISBN 978-5-361-00908-4.

11. Novikov A.N., Shevtsova A.G. Bezopasnoe i effektivnoe upravlenie transportnymi potokami v gorodskoy transportnoy sisteme. Moskva: Akademiya, 2022. 205 s.

12. Vasil'ev A.P. Ekspluatatsiya avtomobil'nykh dorog: ucheb. dlya stud. vysshikh ucheb. zavedeniy. V 2 t. M.: Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2010. 320 s.

13. Zhankaziev S.V. Razrabotka proektov intellektual'nykh transportnykh sistem: ucheb. posobie. M.: MADI, 2016. 22 s.

14. Zhankaziev S.V. Intellektual'nye transportnye sistemy: ucheb. posobie. M.: MADI, 2016. - 14 s.

15. Osnovy organizatsii dorozhnogo dvizheniya: ucheb. posobie / A.N. Novikov, L.E. Kushchenko, S.V. Kushchenko, A.S. Kambur. - Belgorod: Belgorodskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskiy universitet im. V.G. Shukhova, 2023. 170 s.

16. Kulev A.V., Minaeva E.M. Problemy povysheniya kachestva v sfere pervozok passazhirov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №3-2(82). S. 100-105. DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-2(82)-100-105.

17. Novikov A.N., Novikov I.A., Shevtsova A.G. Sovremennaya otsenka problemy bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya. Belgorod: Belgorodskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskiy universitet im. V.G. Shukhova, 2021. 108 s. ISBN 978-5-361-00908-4.

18. Petrova E. Natural hazard impacts on transport infrastructure in Russia [Elektronnyy resurs] // Natural Hazards and Earth System Sciences. Vol. 20. 2020. R. 1969-1983. URL: <https://doi.org/10.5194/nhess-20-1969-2020>.

19. Zyryanov V., Feofilova A. Simulation of Evacuation Route Choice // Transportation Research Procedia: 12th International Conference «Organization and Traffic Safety Management in Large Cities». Vol. 20. Saint-Petersburg: Elsevier B.V. 2017. P. 740-745. DOI 10.1016/j.trpro.2017.01.119.

20. Petrov A.I., Evtyukov S.A. Kontseptual'nye smysly entropiynogo analiza sostoyaniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v raznomasshtabnykh avtotransportnykh sistemakh // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2022. №3-4(78). S. 55-62.

**Novikov Alexander Nikolaevich**

Oryol State University

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

Doctor of technical sciences

E-mail: novikovan58@bk.ru

**Zhestkova Svetlana Anatolievna**

Penza State University of Architecture and Construction

Address: 440028, Russia, Penza, Herman's Titov st., 28

Candidate of technical sciences

E-mail: s.zhestkova@yandex.ru

Научная статья

УДК 656.086

doi:10.33979/2073-7432-2024-1-1(84)-30-38

А.И. ПЕТРОВ, Е.В. ЛИХАЙРОВА

## АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВО ВРЕМЕНИ ЧАСТОТЫ АВАРИЙНЫХ СТОЛКНОВЕНИЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В КРУПНОМ РОССИЙСКОМ ГОРОДЕ

***Аннотация.** В статье представлены результаты изучения локализации одного вида дорожно-транспортных происшествий (ДТП) – столкновений автотранспортных средств (на перекрестках и перегонах улично-дорожной сети города) и распределения их во времени (помесячно в течение года и в суточном ритме). Установлено, что существует определенная специфика распределения столкновений транспортных средств во времени. Эту специфику необходимо учитывать при решении задач управления процессами обеспечения безопасности дорожного движения.*

***Ключевые слова:** Безопасность дорожного движения, столкновения автомобилей, распределение аварийности во времени и пространстве, крупный российский город, перекрестки и перегоны*

### **Введение**

Обеспечение безопасности дорожного движения – одна из самых важных задач управления транспортными системами [1, 2]. Судя по статистическим данным о дорожно-транспортной аварийности, в России за последние годы в этой сфере произошли самые позитивные изменения. Тем не менее, до плановых уровней ( $HR_{2030} = 4,0$  погибших в ДТП/100 тыс. чел.), обозначенных Стратегией БДД [3] достаточно далеко. А это значит, что необходимо продолжать искать пути повышения БДД. С этой целью необходимо максимально широко и глубоко анализировать специфику дорожно-транспортной аварийности. И в первую очередь это замечание касается особенностей формирования аварийности в городах.

В данной статье (на примере крупного российского города Тюмени) рассмотрены особенности распределения в течение годовом (помесячно) и суточном (по часам суток) разрезе частотности ДТП одного вида – «Столкновения автотранспортных средств (АТС)». Знание закономерностей распределения во времени частоты аварийных столкновений позволяет решать главную управленческую задачу – рационально планировать распределение в течение года/суток ресурсов всех видов. Пространственный анализ (относительно перекрестков и перегонов улично-дорожной сети) аварийности позволяет оптимизировать распределение ресурсов в пространстве городской транспортной системы и, например, аргументировано конкретизировать задания сотрудникам ГИБДД.

### **Материал и методы**

Начиная с 2015 г. у исследователей появилась возможность получать необходимую для анализа информацию о дорожно-транспортной аварийности непосредственно с сайта ГИБДД МВД РФ [4]. Причем информация доступна в разрезе отдельных дорожно-транспортных происшествий (ДТП), с указанием времени и локального места их совершения. Необходимо отметить, что речь идет только об учетных ДТП, т.е. о происшествиях с жертвами (погибшими и ранеными). Другие дорожно-транспортные инциденты – например, в ходе которых были повреждены транспортные средства, дорожная инфраструктура и т.п. происшествия с материальным ущербом, но без жертв среди участников-людей, в статистике аварийности не учитывались.

При исследовании использовался метод сбора, обработки и статистического анализа официальной информации о ДТП, локализованных в границах территории муниципального образования [4]. Укажем, что в 2022 г. в Тюмени произошло 1532 учетных ДТП, результатом которых была гибель 41 человека и ранение 2014 человек. На рис. 1 представлено распределение ДТП в Тюмени в течение 2022 г. по видам. Анализ данных рис. 1 показывает, что «Столкновение АТС» – самый распространенный вид ДТП. Всего в 2022 г. в Тюмени произошло 731 столкновение автотранспортных средств (48,3 % от общего числа ДТП). Доля столкновений АТС в Тюмени в общем числе ДТП (48,3 % в 2022 г.) близка к общероссийским данным (44,7 % в 2021 г.) [5] и 45,0 % по итогам 9 месяцев 2022 г. [6] и, тем не менее, несколько превышает общероссийский уровень.

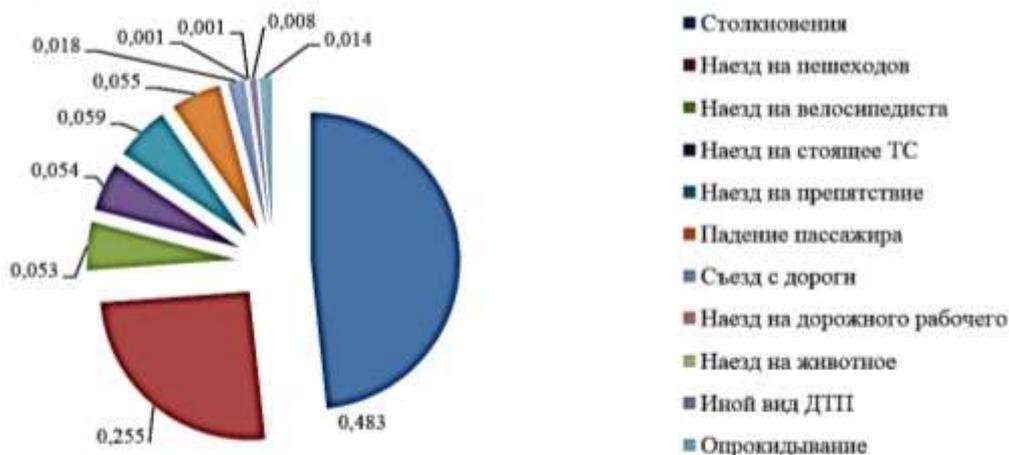


Рисунок 1 – Распределение ДТП (г. Тюмень, 2022) по видам происшествий

Большинство столкновений транспортных средств (473 или 64,7 % от общего числа столкновений) в 2022 г. произошли на перекрестках улично-дорожной сети (УДС). На перегонах произошли 258 (или 35,3 % от общего числа) столкновений. Однако, для понимания специфики формирования такого вида ДТП, как «столкновения АТС» необходим более детализированный анализ. Для этого построим временные ряды распределения ДТП этого вида в Тюмени в 2022 г. (помесячно и посуточно). Причем сделаем это отдельно для таких сегментов УДС Тюмени как «перекрестки» и «перегоны УДС».

Временные ряды распределения ДТП со столкновением АТС в течение года (помесячно).

На рисунке 2 представлено ежемесячное распределение столкновений АТС на перекрестках и перегонах УДС Тюмени.

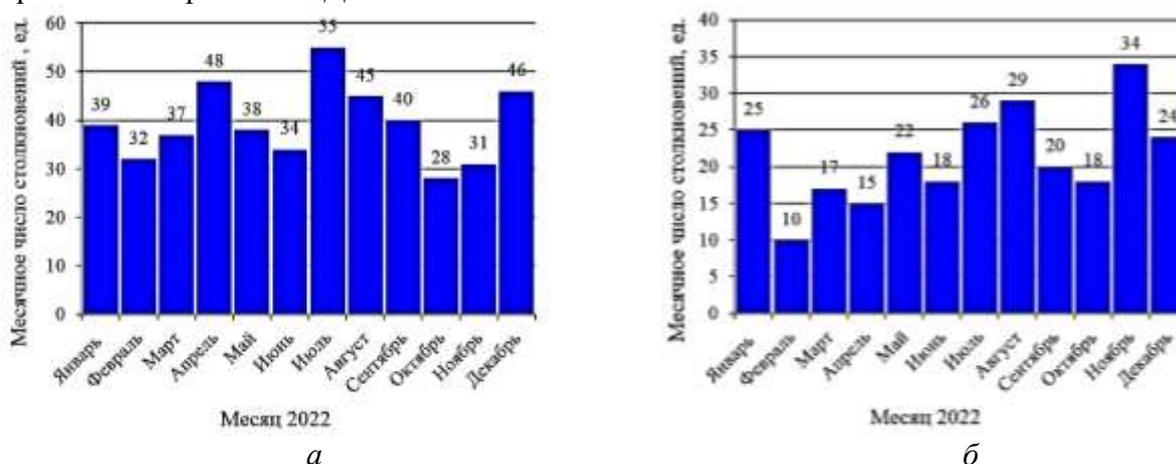
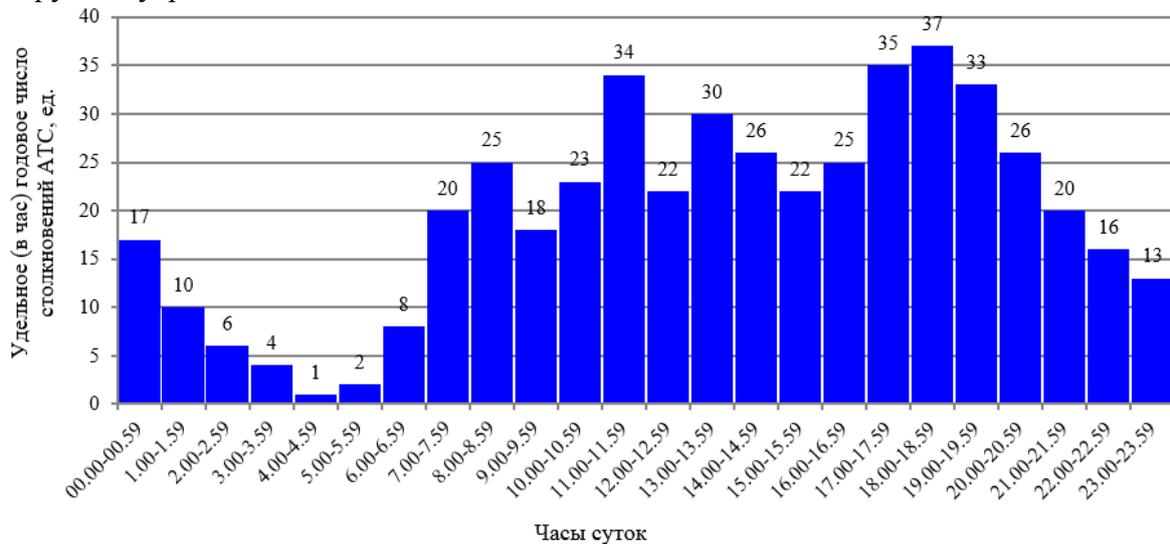


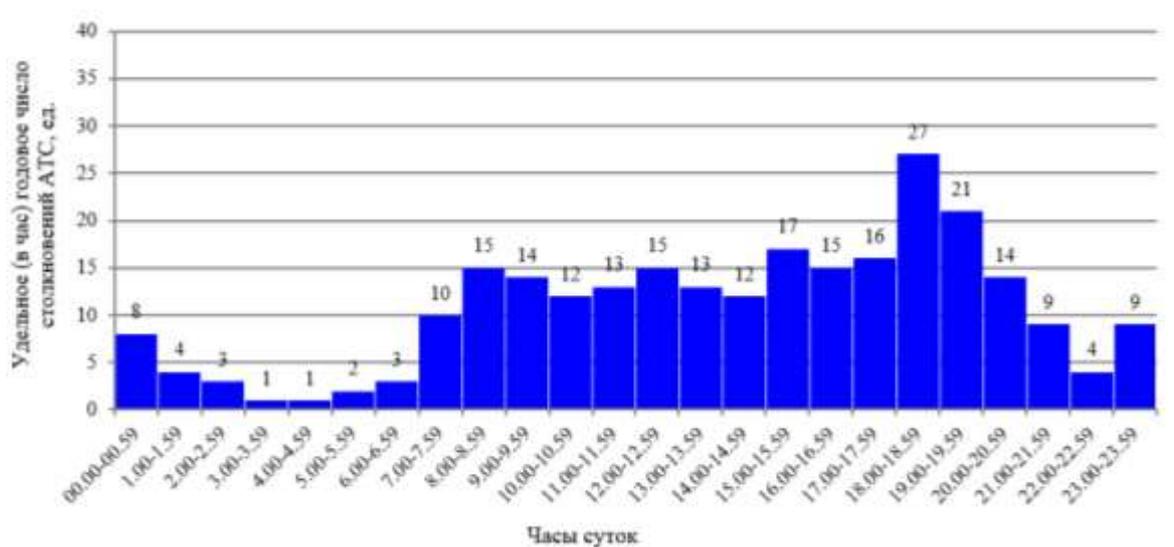
Рисунок 2 – Помесячное распределение ДТП (г. Тюмень, 2022): а - на перекрестках (всего 473), б - на перегонах УДС (всего 258)

Временные ряды распределения ДТП со столкновением АТС в течение суток (по часам суток).

На рисунках 3 и 4 представлены данные о распределении столкновений АТС на перекрестках и перегонах УДС Тюмени в течение суток (по часам). Представленные диаграммы суммируют и усредняют данные в целом за год.



**Рисунок 3 – Диаграмма распределения столкновений АТС на перекрестках УДС Тюмени по часам в течение суток в общегодовом разрезе (всего 473)**



**Рисунок 4 – Диаграмма распределения столкновений АТС на перегонах УДС Тюмени по часам в течение суток в общегодовом разрезе (всего 258)**

**Теория / Расчет**

Анализ распределения во времени частоты аварийных столкновений транспортных средств в крупном российском городе возможен при условии использования простой методики, основанной на определении численных значений Коэффициента неравномерности столкновений АТС во времени  $K_{нер.столкновений}$ .

Имея статистику, характеризующую дорожно-транспортную аварийность в городе, исследователь получает возможность исследовать пространственно-временную специфику столкновений АТС. С целью корректного сравнения этой специфики для мест локализации (перекрестки или перегоны УДС) необходимо абсолютные данные перевести в относительные и далее сравнение вести для относительных величин. В качестве такой относительной величины предлагается выбрать показатель «Коэффициент неравномерности столкновений АТС во времени  $K_{нер.столкновений}$ ». Масштаб оценки этой неравномерности во времени может варьироваться. В рамках данной статьи представлены результаты исследования неравномер-

ности частоты аварийных столкновений в течение года (помесячно – 12 месяцев) и в течение суток (по часам суток – 24 часа).

Гипотетически предполагается, что существуют определенные закономерности формирования частоты столкновений АТС на перекрестках и перегонах и эти закономерности обладают определенной спецификой, т.е. отличительными чертами. Целью данного исследования и является выявление этой специфики.

Для того, чтобы количественно оценивать специфические черты исследуемых закономерностей, используем самый простой подход – расчет численных значений Коэффициента неравномерности  $K_{нер.столкновений}$  распределения столкновений АТС на перекрестках и перегонах УДС в течение определенного периода времени. В общем виде этот коэффициент определяется как (1):

$$K_{нер.столкновений} = N_{столкновений\ факт\ i} / N_{столкновений\ ср.\ за\ период\ времени} \quad (1)$$

где  $N_{столкновений\ факт}$  - число ДТП вида «столкновение», фактически произошедшее в течение определенного  $i$ -го периода времени;

$N_{столкновений\ ср.\ за\ период\ времени}$  - расчетное среднестатистическое число ДТП вида «столкновение», определяемое путем усреднения за исследуемый период времени.

В разделе 3 статьи общий подход (1) конкретизирован для частных случаев определения неравномерности частоты столкновений АТС во времени для случаев «Год» и «Сутки».

### **Результаты**

*Специфика месячной неравномерности распределения столкновений АТС на перекрестках и перегонах УДС Тюмени по часам в года*

С целью корректной идентификации различий между диаграммами, представленными на рис. 2 ( $A$  – для перекрестков и  $B$  – для перегонов УДС), были рассчитаны значения Коэффициента месячной неравномерности ДТП относительно среднегодовой частоты (2):

$$K_{мес.нер.столкновений} = N_{столкновений\ i-мес.} / N_{столкновений\ ср.мес.} \quad (2)$$

где  $N_{столкновений\ i-мес.}$  - число ДТП вида «столкновение», произошедших в  $i$ -том месяце года;

$N_{столкновений\ ср.мес.}$  - среднемесячное число ДТП вида «столкновение», определенное из соотношения  $N_{столкновений\ год} / 12$ .

На рисунке 5 представлена совмещенная диаграмма изменения коэффициентов месячной неравномерности  $K_{мес.нер.столкновений}$  распределения столкновений АТС на перекрестках и перегонах УДС Тюмени по месяцам в течение 2022 г.

Главное, что можно отметить – значительное изменение в течение года частоты столкновений АТС. Диапазон численных значений месячной неравномерности  $K_{мес.нер.столкновений}$  для перекрестков определяется как [0,71; 1,40]; для перегонов – [0,47; 1,58]. Соотношение  $K_{мес.нер.столкновений\ max} / K_{мес.нер.столкновений\ min}$  равно 1,97 – для перекрестков и 3,36 – для перегонов УДС.

Причем, максимальное относительное (в отношении среднегодовой картины) снижение числа столкновений АТС на перегонах в феврале ( $K_{мес.нер.столкновений} = 0,47$ ) и, наоборот, повышение числа столкновений АТС на перегонах в ноябре ( $K_{мес.нер.столкновений} = 1,58$ ) объясняется изменением поведения водителей (его подстройкой под условия движения).

Для экстремальных значений  $K_{мес.нер.столкновений}$  на перекрестках такое объяснение найти достаточно сложно. Отметим, что в мае-июне и декабре-январе численные значения  $K_{мес.нер.столкновений}$  для перегонов и перекрестков почти идентичны, в другие месяцы – резко различаются. Это свидетельствует о наличии в годовом разрезе характерных периодов смены трендов поведения участников дорожного движения в весенне-летний и зимний периоды года.

О трендах синхронности поведения участников дорожного движения можно судить по графикам корреляции между численными значениями  $K_{мес.нер.столкновений}$  для перегонов и перекрестков (рис. 6).

Для девяти месяцев в году характерна определенная корреляция между частотой столкновений АТС на перегонах и перекрестках; для трех месяцев – ее отсутствие (рис. 6).

Для апреля (точка с координатами (1,22; 0,70); июля (точка с координатами (1,40; 1,21) и ноября (точка с координатами (0,79; 1,58) такой корреляции нет. Этот факт свидетельствует о том, что именно в эти месяцы года происходит коренная ломка стереотипов поведения участников дорожного движения, рассинхронизация их поведенческих стереотипов.

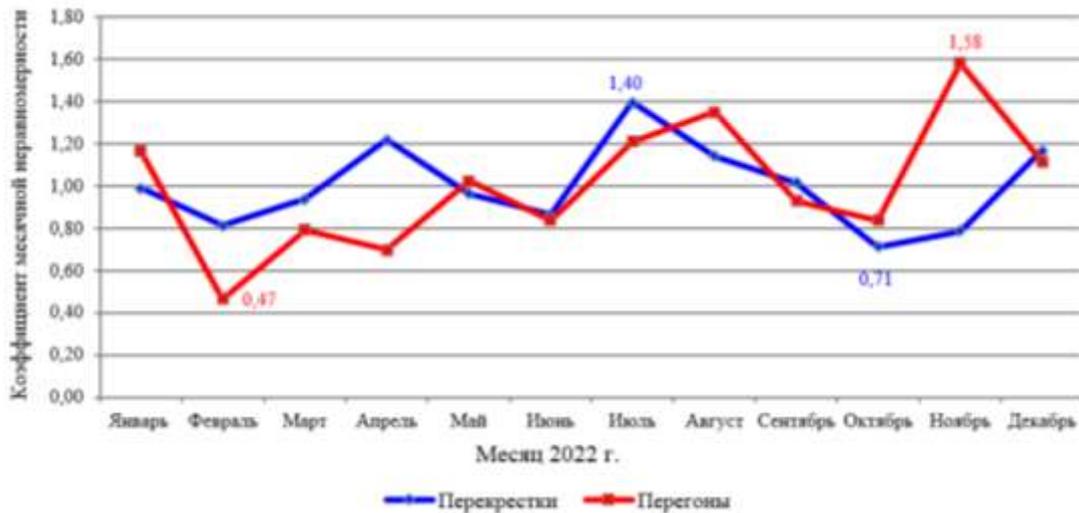
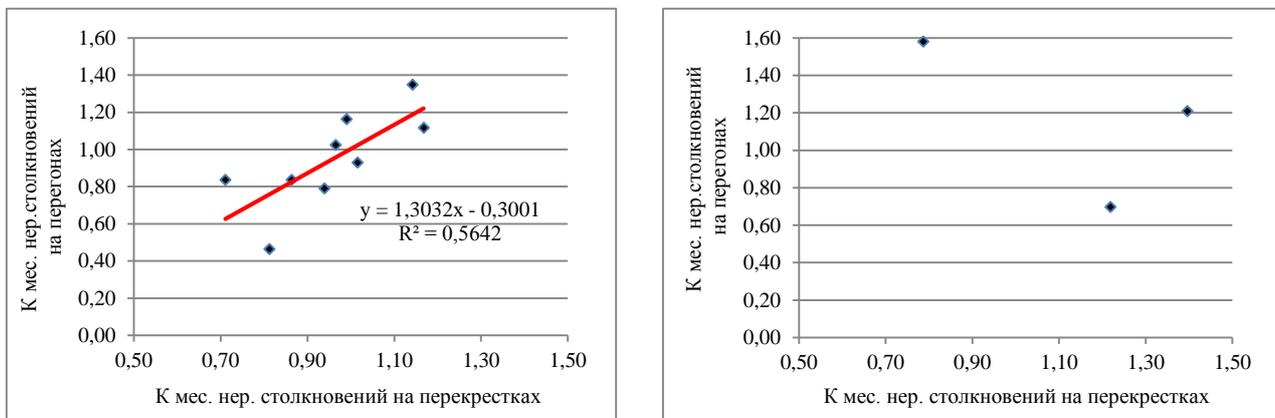


Рисунок 5 – Совмещенная диаграмма изменения коэффициентов месячной неравномерности распределения столкновений АТС на перекрестках и перегонах УДС Тюмени по часам в течение суток в обще годовом разрезе



а б

Рисунок 6 – Зависимость  $K_{\text{мес. нер. перегоны}} = f(K_{\text{мес. нер. перекрестки}})$ : а - 9 месяцев в году, для которых наблюдается корреляция  $K_{\text{мес. нер.}}$ ; б - 3 месяца в году (апрель, июль, ноябрь), для которых корреляция  $K_{\text{мес. нер.}}$  не наблюдается

Специфика часовой неравномерности распределения столкновений АТС на перекрестках и перегонах УДС Тюмени по часам в течение суток

С целью корректной идентификации различий между диаграммами, представленными на рис. 1 и рис. 2, были рассчитаны значения Коэффициента часовой неравномерности ДТП относительно среднесуточной частоты (3):

$$K_{\text{час. нер. столкновений}} = N_{\text{столкновений } i\text{-час}} / N_{\text{столкновений ср. час.}} \quad (3)$$

где  $N_{\text{столкновений } i\text{-час.}}$  - число ДТП вида «столкновение», произошедших в течение  $i$ -того часа суток в течение года;

$N_{\text{столкновений ср. час.}}$  - среднечасовое число ДТП вида «столкновение», определенное из соотношения  $N_{\text{столкновений год.}}/24$ ;

$N_{\text{столкновений ср. час.}} = 19,71/ \text{ час.}$  – для перекрестков;

$N_{\text{столкновений ср. час.}} = 10,75/ \text{ час.}$  – для перегонов УДС.

На рисунке 7 представлена совмещенная диаграмма изменения коэффициентов часо-

вой неравномерности ДТП  $K_{\text{час.нер. столкновений}}$  распределения столкновений АТС на перекрестках и перегонах УДС Тюмени по часам в течение суток в обще годовом разрезе.

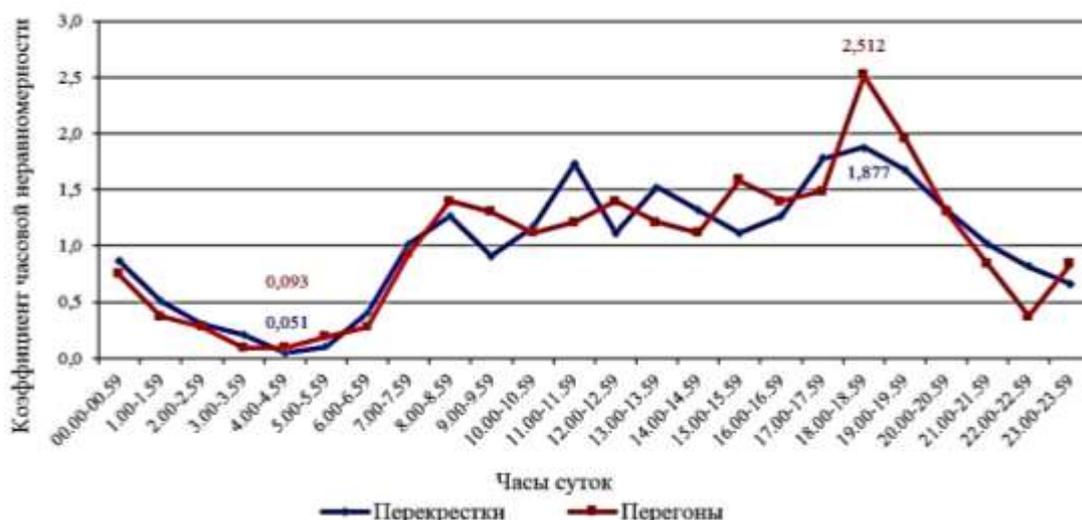


Рисунок 7 – Совмещенная диаграмма изменения коэффициентов часовой неравномерности распределения столкновений АТС на перекрестках и перегонах УДС Тюмени по часам в течение суток в обще годовом разрезе

В период (21:00 – 08:00) численные значения часовой неравномерности  $K_{\text{час. нер. столкновений}} < 1$  и могут достигать значения  $K_{\text{час. нер. столкновений min}} = 0,051$ ; в период (08:00 – 21:00) численные значения часовой неравномерности  $K_{\text{час. нер. столкновений}} > 1$  и могут достигать значения  $K_{\text{час. нер. столкновений max}} = 2,512$ .

В ночное время (00:00 – 08:00) численные значения часовой неравномерности  $K_{\text{час.нер. столкновений}}$  для столкновений на перекрестках и перегонах УДС изменяются практически синхронно; в период с 08:00 до 24:00 вышеуказанная синхронность нарушается (рис. 8).

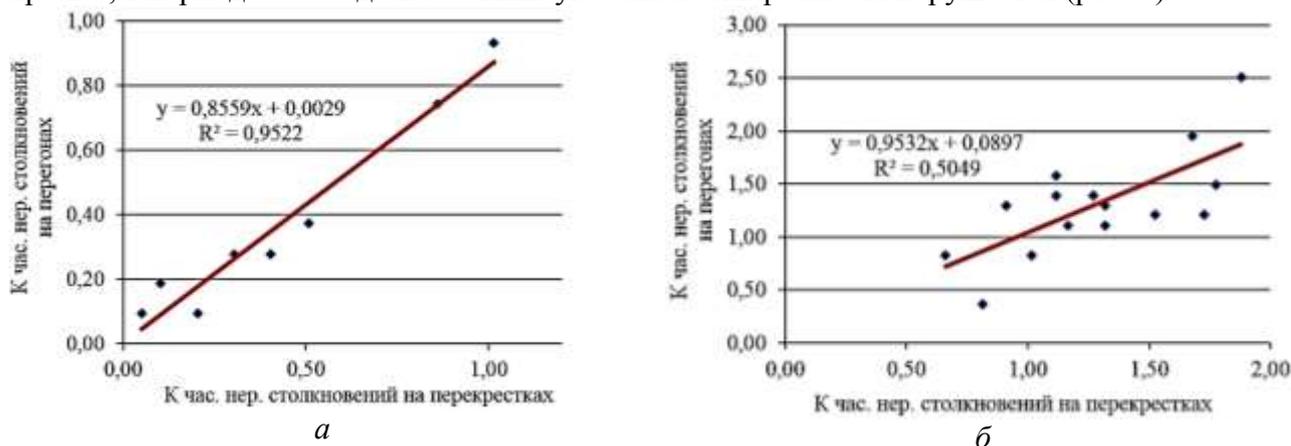


Рисунок 8 – Зависимость  $K_{\text{час.нер. перегоны}} = f(K_{\text{час.нер. перекрестки}})$ :  
 а - Ночное время (00:00 – 08:00), б - Дневное время (08:00 – 24:00)

### Обсуждение

В разделе 3 представлены результаты экспериментальных исследований и уже по этим результатам многое становится ясным. Тем не менее, еще раз проанализируем причины выявленной пространственно-временной неравномерности столкновений АТС.

Акцентируем внимание читателя на том, что максимальные значения  $K_{\text{мес. нер. столкновений}}$  для перегонов равно 1,58 в ноябре против аналога, равного 0,47 в феврале. Более чем трехкратная разница между значениями этого показателя объясняется, прежде всего, особенностями трансформации во времени (в течение года) массового поведения водителей, что связано, конечно же, с перестройкой определенных стереотипов восприятия степени опасности для себя окружающей обстановки. По сути, речь идет о том, что води-

тельские привычки, наработанные в летний период, когда коэффициент сцепления шины с дорогой  $\varphi \approx 0,6-0,8$ , пролонгируются и на то время, когда  $\varphi \approx 0,2-0,3$ . Эффективность торможения осенью-зимой резко снижается, но водитель не осознает это в полной мере в начале этого периода и продолжает реализовывать те формы поведения на дороге, которые были допустимы с позиций обеспечения БДД летом, но уже не допустимы в ноябре. По сути, речь идет об адаптации и эта адаптация в полной мере формируется лишь к февралю, когда  $K_{\text{мес. пер. столкновений}}$  для перегонов достигает значения 0,47.

Для случаев ДТП на перекрестках этот феномен проявляется в меньшей степени. Двукратная разница в величине максимального (июль) и минимального (октябрь) значений  $K_{\text{мес. пер. столкновений}}$  для перекрестков, скорее всего, объясняется общим снижением внимательности всех участников дорожного движения (и водителей, и пешеходов) в летний период и, наоборот, ее повышением к периоду начала занятий детей в школах осенью.

Анализируя динамику величины коэффициентов часовой неравномерности распределения столкновений АТС на перекрестках и перегонах УДС Тюмени по часам суток, отметим следующее:

- максимальная аварийность (и на перегонах, и на перекрестках) характерна в вечернее время (18:00-18:59) и это, как обычно указывается в ранее выполненных работах [7-9] связано с ростом общей усталости участников дорожного движения;

- сравнение значений  $K_{\text{час. пер. столкновений max}}$  и  $K_{\text{час. пер. столкновений min}}$  для случаев локализации столкновений на перекрестках и перегонах показывает, что амплитуда этого соотношения выше для перекрестков ( $1,877/0,051 = 36,8$ ). Для перегонов это соотношение определяется как ( $2,512/0,093 = 27,0$ ). Объяснение этому наблюдению еще предстоит после дополнительных исследований;

Что касается результатов корреляционных исследований (рис. 6 и рис. 8), то здесь надо отметить, что наличие или отсутствие корреляции лишь дополняет своим фактом вышепредложенные тезисы.

### **Выводы**

Центральной задачей исследования было показать специфику процессов формирования во времени столкновений АТС в городе для различных элементов УДС (перекрестков и перегонов). Представленные результаты свидетельствуют, что эта специфика объективно существует и подтверждает целый ряд теорий (движения АТС, транспортной психологии и т.д.). Конечно же, закономерности, представленные в разделе 3 и проанализированные в разделе 4 данной статьи, необходимо учитывать в практике организации службы ГИБДД [10-14].

В этой связи возникает необходимость требования дифференцированного усиления надзора сотрудниками ГИБДД за транспортным поведением участников дорожного движения с целью снижения  $K_{\text{мес. пер. столкновений}}$  на отдельных локальных участках УДС (а именно: летом – на перекрестках, а в конце осени-начале зимы – на перегонах). В отношении учета суточной неравномерности аварийности возникает соблазн повторить в качестве рекомендации уже известные наработки. Усиление надзора за поведением участников дорожного движения требуется, прежде всего, в вечернее время, в условиях нарастания транспортной усталости. Данные рекомендации можно реализовывать в форме перераспределения ресурсного обеспечения профессиональной деятельности сотрудников ГИБДД [15].

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Ешуткин Д.Н., Кулев М.В. Анализ проблем экологической и дорожной безопасности автотранспортных средств в России // Мир транспорта и технологических машин. 2009. №3(26). С. 79-82.
2. Новиков А.Н., Кулев М.В., Кулев А.В. Разработка мероприятий по снижению дорожно-транспортной аварийности по вине водителей в состоянии алкогольного опьянения // Мир транспорта и технологических машин. 2016. №4(55). С. 97-104.
3. Стратегия безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018-2024 гг.: Распоряжение Правительства РФ от 8.01.2018 г. № 1-р. [Электронный ресурс] / URL: <http://static.government.ru/media/files/g6BXGgDI4fCEiD4xDdJUwIwudPATBC12.pdf> (дата обращения: 30 марта 2023 года).

4. Показатели состояния БДД: Официальный сайт ГИБДД МВД РФ [Электронный ресурс] / URL: <https://stat.gibdd.ru/> (дата обращения: 6 апреля 2023 года).
5. Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации за 2021 год. Информационно-аналитический обзор. М.: ФКУ «НЦ БДД МВД России». 2022. 126 с.
6. Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации за 9 месяцев 2022 года. Информационно-аналитический обзор. М.: ФКУ «НЦ БДД МВД России». 2022. 40 с.
7. Zaranka J., Pečeliūnas R., Žuraulis V. A Road Safety-Based Selection Methodology for Professional Drivers: Behaviour and Accident Rate Analysis // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2021. 18. 12487.
8. Salmon P.M., Read G.J.M., Beanland V., Thompson J., Filtness A.J., Hulme A., McClure R., Johnston I. Bad Behaviour or Societal Failure? Perceptions of the Factors Contributing to Drivers' Engagement in the Fatal Five Driving Behaviours Appl. Ergon. 2019. 74. 162-171.
9. Maynard S., Filtness A., Miller K., Pilkington-Cheney F. Bus Driver Fatigue: A Qualitative Study of Drivers in London // Appl. Ergon. 2021. 92. 103309.
10. Кравченко П.А. Организация и безопасность дорожного движения в больших // Наука и техника в дорожной отрасли. 2013. №1(64). С. 1-2.
11. Novikov A., Novikov I., Shevtsova A. Modeling of traffic-light signalization depending on the quality of traffic flow in the city // Journal of applied engineering science. 2019. Vol. 17. №2. P. 175-181.
12. Zhankaziev S.V., Vorobyev A.I., Morozov D.Y., Novikov A.N., Kulev A.V. Efficiency of operation and functioning of the system of an indirect transport flow regulation and control // International journal of applied engineering research. 2017. Vol. 12. №13. P. 3645-3652.
13. Петров А.И., Евтюков С.А., Колесов В.И. Новые подходы к управлению безопасностью дорожного движения: парадигма организованности процессов обеспечения безопасности дорожного движения // Мир транспорта и технологических машин. 2019. №3(66). С. 65-74.
14. Кравченко П.А., Олещенко Е.М. Концепция полной наблюдаемости систем обеспечения безопасности дорожного движения // Транспорт Российской Федерации. Специальный выпуск. 2015. С. 25-31.
15. Петров А.И., Евтюков С.А. Новая антиэнтропийная концепция организованности систем обеспечения безопасности дорожного движения // Вестник гражданских инженеров. 2019. №1(72). С. 184-193.

**Петров Артур Игоревич**

Тюменский индустриальный университет  
Адрес: 625027, Россия, г. Тюмень, ул. Мельникайте, 72  
К.т.н., доцент кафедры эксплуатации автомобильного транспорта  
E-mail: ArtIgPetrov@yandex.ru

**Лихайрова Евгения Владимировна**

Тюменский индустриальный университет  
Адрес: 625027, Россия, г. Тюмень, ул. Мельникайте, 72  
Аспирант, специалист кафедры эксплуатации автомобильного транспорта  
E-mail: lihajrovaev@tyuiu.ru

---

A.I. PETROV, E.V. LIKHAYROVA

**ANALYSIS OF LOCALIZATION AND DISTRIBUTION FEATURES  
IN TIME OF THE FREQUENCY OF EMERGENCY COLLISIONS  
OF VEHICLES IN A LARGE RUSSIAN CITY**

***Abstract.** The article presents the results of studying the localization of one type of road accidents (RA) - collisions of motor vehicles (at intersections and stretches of the city's road network) and their distribution over time (monthly throughout the year and in a daily rhythm). It is established that there is a certain specificity of the distribution of collisions of vehicles over time. This specificity must be taken into account when solving the tasks of managing the processes of ensuring road safety.*

***Keywords:** road safety, car collisions, accidents distribution in time and space, large Russian city, intersections and stretches*

**BIBLIOGRAPHY**

1. Eshutkin D.N., Kulev M.V. Analiz problem ekologicheskoy i dorozhnoy bezopasnosti avtotransportnykh sredstv v Rossii // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2009. №3(26). S. 79-82.

2. Novikov A.N., Kulev M.V., Kulev A.V. Razrabotka meropriyatiy po snizheniyu dorozhno-transportnoy avariynosti po vine voditeley v sostoyanii alkogol'nogo op'yaneniya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2016. №4(55). S. 97-104.
3. Strategiya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v Rossiyskoy Federatsii na 2018-2024 gg.: Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 8.01.2018 g. № 1-r. [Elektronnyy resurs] / URL: <http://static.government.ru/media/files/g6BXGgDI4fCEiD4xDdJUwIudPA> (data obrashcheniya: 30 marta 2023 goda).
4. Pokazateli sostoyaniya BDD: Ofitsial'nyy sayt GIBDD MVD RF [Elektronnyy resurs] / URL: <https://stat.gibdd.ru/> (data obrashcheniya: 6 aprelya 2023 goda).
5. Dorozhno-transportnaya avariynost' v Rossiyskoy Federatsii za 2021 god. Informatsionno-analiticheskiy obzor. M.: FKU «NTS BDD MVD Rossii». 2022. 126 s.
6. Dorozhno-transportnaya avariynost' v Rossiyskoy Federatsii za 9 mesyatsev 2022 goda. Informatsionno-analiticheskiy obzor. M.: FKU "NTS BDD MVD Rossii". 2022. 40 s.
7. Zaranka J., Pe?eli?nas R., ?uraulis V. A Road Safety-Based Selection Methodology for Professional Drivers: Behaviour and Accident Rate Analysis // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2021. 18. 12487.
8. Salmon P.M., Read G.J.M., Beanland V., Thompson J., Filtness A.J., Hulme A., McClure R., Johnston I. Bad Behaviour or Societal Failure? Perceptions of the Factors Contributing to Drivers' Engagement in the Fatal Five Driving Behaviours Appl. Ergon. 2019. 74. 162-171.
9. Maynard S., Filtness A., Miller K., Pilkington-Cheney F. Bus Driver Fatigue: A Qualitative Study of Drivers in London // Appl. Ergon. 2021. 92. 103309.
10. Kravchenko P.A. Organizatsiya i bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya v bol'shikh // Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli. 2013. №1(64). S. 1-2.
11. Novikov A., Novikov I., Shevtsova A. Modeling of traffic-light signalization depending on the quality of traffic flow in the city // Journal of applied engineering science. 2019. Vol. 17. №2. P. 175-181.
12. Zhankaziev S.V., Vorobyev A.I., Morozov D.Y., Novikov A.N., Kulev A.V. Efficiency of operation and functioning of the system of an indirect transport flow regulation and control // International journal of applied engineering research. 2017. Vol. 12. №13. P. 3645-3652.
13. Petrov A.I., Evtyukov S.A., Kolesov V.I. Novye podkhody k upravleniyu bezopasnost'yu dorozhnogo dvizheniya: paradigma organizovannosti protsessov obespecheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2019. №3(66). S. 65-74.
14. Kravchenko P.A., Oleshchenko E.M. Kontseptsiya polnoy nablyudaemosti sistem obespecheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya // Transport Rossiyskoy Federatsii. Spetsial'nyy vypusk. 2015. S. 25-31.
15. Petrov A.I., Evtyukov S.A. Novaya antientropiynaya kontseptsiya organizovannosti sistem obespecheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2019. №1(72). S. 184-193.

**Petrov Artur Igorevich**

Tyumen Industrial University  
Address: 625027, Russia, Tyumen, Mel'nikayte str., 72  
Candidate of technical sciences  
E-mail: ArtIgPetrov@yandex.ru

**Likhayrova Evgeniya Vladimirovna**

Tyumen Industrial University  
Address: 625027, Russia, Tyumen, Mel'nikayte str., 72  
Postgraduate student  
E-mail: lihajrovaev@tyuiu.ru

Научная статья

УДК 656.13.07

doi:10.33979/2073-7432-2024-1-1(84)-39-47

Н.А. ЗАГОРОДНИЙ, М.В. ГОЛОВКИН, А.С. БОНДАРЬ

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

***Аннотация.** В данной статье проводится исследование перспектив развития информационных транспортных систем, цель которого – изучение существующих технологий мониторинга транспортных потоков для повышения безопасности и эффективности дорожного движения. В статье рассматриваются существующие методы сбора и обработки данных о транспортных потоках, а также влияние мониторинга на безопасность движения. Задачей исследования является определение наиболее прогрессивных и эффективных технологий мониторинга и практики их применения. В статье также проводится анализ результатов применения интеллектуальной транспортной системы в городе Белгороде и её влияние на снижение аварийности. Выводы указывают на важность развития дальнейших исследований в области мониторинга для оптимизации транспортной системы города и развития инфраструктуры.*

***Ключевые слова:** мониторинг транспортных потоков, фиксация нарушений, безопасность движения, интеллектуальная транспортная система, дорожно-транспортные происшествия*

### **Введение**

Цель исследования заключается в изучении перспективных направлений развития технологий мониторинга транспортных потоков, позволяющих повысить эффективность и безопасность дорожного движения. Объектом изучения в данной статье выступают существующие методы сбора и обработки данных о транспортных потоках, влияние транспортного мониторинга на безопасность дорожного движения. Главной задачей исследования является определение наиболее прогрессивных и эффективных существующих технологий мониторинга транспортных потоков и практики их применения, которые могут быть взяты за основу для разработки перспективных решений в данной области.

Накопленный опыт человечества в области мониторинга транспортного движения охватывает широкий спектр технологий и методов [1]. С начала 20-го века развитие камер видеонаблюдения, радиочастотной идентификации, глобальных позиционных систем (GPS) и искусственного интеллекта привело к созданию эффективных систем мониторинга. Эти технологии используются для управления транспортным потоком, обеспечения безопасности на дорогах, оптимизации маршрутов и сокращения загрязнения окружающей среды [2-4]. Благодаря современным инновациям в области сенсоров, аналитики данных и связи между устройствами, мониторинг транспортного движения стал более точным, эффективным и устойчивым к нагрузкам, что способствует более безопасному и эффективному использованию транспортной инфраструктуры.

### **Материал и методы**

Для проведения исследования произведено наблюдение в сфере существующих систем мониторинга на транспорте. Взяты результаты сбора и накопления статистической информации об аварийности на автомобильных дорогах. Для достижения цели на основе приведенных данных выполнено сравнение существующих систем мониторинга по первичным признакам, таким как принцип работы, технические характеристики, диапазон рабочих условий; и по вторичным признакам, таким как виды фиксируемых типов нарушений и параметров дорожных потоков, степени влияния на безопасность дорожного движения. Результатом сравнения является умозаключение о наиболее перспективном направлении развития систем мониторинга с точки зрения улучшения их качественных характеристик.

Выявленные в ходе сравнения факты сопоставлены с накопленной статистикой аварийности в результате индуктивного процесса позволяют выявить гипотезу, экстраполяция которой позволяет аргументировать необходимость создания качественно нового подхода в сфере транспортного мониторинга для дальнейшего повышения безопасности дорожного движения.

### *Теория*

На момент исследования существует множество систем мониторинга транспортных потоков. Основными и часто используемыми среди них являются: видеокамеры, инфракрасные датчики, радарные комплексы, GPS-трекинг, датчики с петлей индуктивности, рамки весового контроля, а также их совокупное применение в интеллектуальных транспортных системах [5, 6]. Была рассмотрена каждая система более подробно и определены преимущества, недостатки и область их применения.

В связи с развитием информационных технологий в России с каждым годом на автомобильных дорогах устанавливается всё больше камер видеонаблюдения [7-9]. Чаще всего их можно увидеть на пересечениях дорог, вблизи мостов и путепроводов, железнодорожных переездов. Данные камеры передают видеопоток на специальный сервер, установленный в центре обработки данных (ЦОД). Обзорные камеры видеонаблюдения позволяют контролировать загруженность на участках автомобильных дорог в городе, выявлять причины их возникновения (например, дорожно-транспортное происшествие) и своевременно отправлять сотрудников дорожно-патрульной службы для регулировки движения. Также, камеры видеонаблюдения позволяют определить вышедшие из строя по каким-либо причинам дорожные светофоры и своевременно устранить неисправность. На данный момент применение видеокамер для мониторинга транспортных потоков можно разделить на две категории: сбор и хранение видеоматериалов с последующим анализом оператором по мере необходимости (в случае возникновения дорожно-транспортного происшествия), и автоматические комплексы, оборудованные вычислительной техникой и специализированным программным обеспечением, позволяющие проводить анализ информации в реальном времени, фиксировать как общие параметры транспортных потоков, так и отдельные события, такие как факты нарушения правил дорожного движения и иные дорожные ситуации, выступающие условным сигналом для производства автоматических управляющих воздействий, вызова экстренных служб или требующих ручного вмешательства.

Инфракрасные датчики работают на основе технологии инфракрасного излучения [6, 10]. Принцип их работы основан на излучении инфракрасных лучей, которые отражаются от объектов и возвращаются обратно к датчику. По времени, за которое луч преодолевает расстояние от датчика до объекта и обратно, можно определить скорость и направление движения объекта. Для мониторинга дорожного движения инфракрасные датчики часто используются в паре или группе, установленные на определенном расстоянии друг от друга. Это позволяет определить скорость и направление движения объектов, а также регистрировать проблемные ситуации, такие как въезд на запрещенную территорию или остановка на железнодорожных переездах. Одним из примеров применения инфракрасных датчиков для мониторинга дорожного движения является система «интеллектуального» светофора. Датчики располагаются на каждой дорожной полосе перед светофором и определяют количество транспортных средств, проходящих по полосе [11, 12]. Эта информация передается в систему управления светофором, которая анализирует текущую ситуацию на дороге и определяет оптимальное время сигналов светофора для обеспечения наибольшей пропускной способности. Данная система имеет ряд следующих недостатков. Каждый датчик может контролировать не более одной полосы движения. Есть ограничение по измерению скорости движения автомобилей, от 5 до 120 км/ч. Погодные условия, такие как снег, дождь или туман, могут влиять на точность работы инфракрасных датчиков, что может привести к некорректным данным. Инфракрасные датчики могут реагировать на другие источники тепла, такие как животные, тепло от теплотрасс, что может привести к некорректным данным о транспортном потоке. Кроме этого, инфракрасные датчики требуют регулярного обслуживания и очистки, чтобы поддерживать высокую точность и надежность их работы.

GPS-трекинг – это система, которая использует спутниковую навигацию для отслеживания и мониторинга транспортных средств. GPS-трекинг может быть использован как средство мониторинга дорожного движения с целью повышения безопасности и эффективности. Данное устройство позволяет отслеживать местоположения транспортных средств, определять наиболее оптимальные маршруты движения, определять наиболее частые маршруты транспортного средства и собирать статистику о поездках [13-15]. Данная информация может быть использована в качестве оперативно-розыскных мероприятий сотрудниками полиции. Однако, у данной системы есть очень большой недостаток – зависимость от сигнала GPS. При использовании системы подавления сигнала GPS и подмены координат, она становится абсолютно бесполезной. Также, в условиях горной местности и в подземных парковках, где сигнал полностью исчезнет, определить местонахождение транспортного средства практически невозможно.

Датчики с петлей индуктивности - это устройства, используемые для мониторинга и сбора информации о транспортных потоках. Они состоят из электромагнитной петли, установленной в дорожном покрытии, и электронного модуля, который преобразует сигналы, полученные от петли, в данные о движении транспортных средств [16]. Работа датчиков с петлей индуктивности основана на изменении индуктивности петли, вызванного прохождением металлических объектов, таких как автомобили. Когда автомобиль проезжает над петлей, его металлическая масса изменяет индуктивность петли, что вызывает изменение электрического сопротивления в цепи петли. Этот сигнал затем передается электронному модулю для обработки и анализа. Данная система может предоставлять следующие данные о транспортных потоках: плотность и объем потока, скорость движения, а также классифицировать транспортные средства по категориям (легковые, грузовые). Датчики имеют бесконтактный принцип работы, однако, они подвержены действию электромагнитных полей, в результате чего их точность снижается. Кроме этого, датчики уязвимы к физическим воздействиям, таким как удар или перегиб. Проезд тяжеловесных транспортных средств может вызвать их поломку.

Радарные комплексы мониторинга дорожного движения используются для определения скоростей, расстояний и направлений движения транспортных средств на дороге. Во время работы радарная антенна излучает радарные сигналы в виде электромагнитных волн определенной частоты. Эти сигналы распространяются в окружающем пространстве и отражаются от объектов, включая проезжающие автомобили [17]. Радар слушает отраженные сигналы и анализирует их задержку и изменение частоты. Используя эти данные, радарный комплекс определяет расстояние до автомобилей, их скорость и направление движения. Радарные комплексы обладают высокой точностью, могут определять скорость движения автомобилей независимо от погодных условий, могут взаимодействовать с внешними системами для фиксации нарушений. Сложная настройка и калибровка при помощи специального программного обеспечения, а также высокая стоимость являются главными недостатками в применении данных комплексов.

Рамки весогабаритного контроля для грузовых автомобилей работают по принципу обнаружения и измерения размеров и веса транспортных средств. Это необходимо для контроля соответствия грузовых автомобилей установленным законодательством ограничениям по габаритам и грузоподъемности. Автоматическая система определяет, когда грузовой автомобиль подъезжает к рамкам весогабаритного контроля и регистрирует его номерной знак. С помощью сенсоров и камер система определяет размеры автомобиля, включая высоту, ширину и длину, а также расстояние между осями. Благодаря встроенным в дорожное покрытие силовым датчикам система измеряет вес автомобиля при проезде через рамки контроля [18]. Измеренные параметры грузового автомобиля сравниваются с предварительно заданными ограничениями, установленными законодательством. Если параметры превышают установленные пределы, система генерирует аварийный сигнал или отправляет сигнал предупреждения диспетчеру. Результаты измерений и данные о превышении ограничений сохраняются в системе для последующего анализа или использования при штрафовании нарушителей.

Каждое из вышеперечисленных устройств может быть использовано для мониторинга транспортных потоков на каком-то конкретном участке дороги, но эффективность при этом будет низкая, так как требуется система обработки большого объема полученных данных. Если говорить о развитии транспортной системы в каком-либо городе, то здесь требуется комплексное решение – создание интеллектуальной транспортной системы (ИТС) [2-4]. Интеллектуальная транспортная система - это комплексные технологические решения, использующие информационные и коммуникационные технологии для управления и мониторинга транспортной инфраструктуры, дорожного движения и транспортных средств [19, 20].

Развитие интеллектуальной транспортной системы в России началось в конце 1990-х годов и продолжается по сегодняшний день. Начиная с 2003 года различные ИТ-компании начали предлагать комплексные решения по мониторингу транспортных потоков. Примером успешного применения разработанных продуктов ИТС в городе Белгороде являются продукты компаний ООО «Городские технологии» и ООО «Городские парковки». Компания ООО «Городские технологии» является разработчиком программного обеспечения в области транспорта. Специалисты компании разработали такие системы, как «Автоматизированная система весогабаритного контроля (АСВГК)» и «Интеллектуальный трафик».

АСВГК грузового автомобильного транспорта представляет собой установленное оборудование и программное обеспечение, которые позволяют измерить весогабаритные параметры транспортного средства без уменьшения скорости движения и автоматически передать данные во внешние информационные системы (рис. 1).



Рисунок 1- Автоматизированная система весогабаритного контроля

Система «Интеллектуальный трафик» включает в себя следующие модули: СПЕКТР-Д, Опора, Страж, Пульс, Гриф и другие. Компания «Городские технологии» успешно внедрила в городе Белгороде данную систему [21]. Практически на каждом пересечении установлены комплексы «Спектр-Д», которые фиксируют проезды автомобилей и отправляют данные в специализированное программное обеспечение «Гриф», в котором происходит распознавание государственного регистрационного знака (ГРЗ), определение направления движения автомобиля, марку и тип транспортного средства. Все данные сохраняются на сервере в центре организации дорожного движения (ЦОДД). Система позволяет собирать данные об интенсивности дорожного движения на улицах города, передавать данные в центр автоматизированной системы управления дорожным движением (АСУДД), регулируя длительность фаз и цикла светофорного объекта на пересечениях. Также, система «Гриф» позволяет определить места концентрации возможного возникновения дорожно-транспортных происшествий по методу поиска мест на карте города с наиболее плотным дорожным трафиком. Информация, полученная с комплексов «СПЕКТР-Д», может быть использована для оперативно-розыскных мероприятий сотрудниками ГИБДД, так как в системе есть возможность выполнить поиск автомобиля по ГРЗ, определить координаты мест, где данный автомобиль попал на камеру и построить маршрут движения любого автомобиля за любой промежуток времени. Данная система позволяет не только снизить задержки перед пересечениями, оптимизировав светофорный цикл, но и снизить вероятность возникновения дорожно-транспортных происшествий и количество наруше-

ний, в том числе угонов транспортных средств.

Кроме этой системы, в городе Белгороде и в Белгородской области установлены комплексы фиксации нарушений скоростного режима «ВЗОР» и комплексы «Перекресток» для фиксации нарушений проезда под запрещающий сигнал светофора, выезда за стоп-линию, пересечения сплошной линии разметки и выезда на встречную полосу (рис. 2).

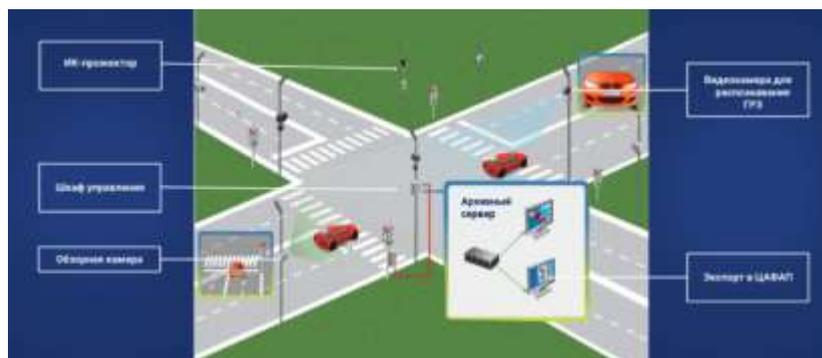


Рисунок 2- Схема работы комплексов «Перекресток»

Компания «Городские парковки» разработала и внедрила не только в Белгороде, но и в других крупных регионах, таких как Москва, Воронеж, Курск, Новосибирск, Тула, Пермь и других аппаратно-программный комплекс ПАК «SOVA» [22]. Он позволяет фиксировать 16 видов нарушений правил дорожного движения. Данная компания также разработала и внедрила проект платного парковочного пространства, где используются комплексы «SOVA». Принцип его работы заключается в следующем: поворотная камера фиксирует определенные участки дороги или парковки, на которых с помощью разработанного программного обеспечения размечаются зоны фиксации нарушений специальными объектами, которые классифицируются по типу нарушения, например, остановка в зоне действия знака 3.27 «Остановка запрещена». Далее факты фиксации с комплекса приходят на сервер, где происходит обработка нарушения, состоящего из двух фото. ГРЗ автомобиля распознается специально обученной нейронной сетью по фотографии автомобиля. Происходит обработка нарушения и система автоматически экспортирует данные в центр автоматической фиксации административных правонарушений (ЦАФАП), либо в административную комиссию региона.

Согласно статистическим данным применение ИТС в городе Белгороде позволило снизить количество дорожно-транспортных происшествий, повысить эффективность существующих парковок, сократить количество нарушений, снизить уровень травматизма и смертности на дорогах, а также позволило повысить безопасность и обеспечило комфортную среду для движения пешеходов [23]. Статистические данные ГИБДД представлены на рисунке 3.



Рисунок 3 - Статистика ДТП за последние 5 лет в г. Белгород

На рисунке 3 представлено количество дорожно-транспортных происшествий, количество раненых и погибших человек в результате ДТП в городе Белгороде в период с 2019 по

2023 год. Анализируя вышеприведенные данные, можно сделать вывод о том, что за последние 5 лет наблюдается тенденция на снижение количества дорожных происшествий и числу пострадавших в результате ДТП. Например, в 2020 году количество пострадавших в результате ДТП снизилось на 12,5 % по сравнению с 2019 годом. В 2021 году снизилось на 16 % по сравнению с 2020 годом. А в 2022 году снизилось на 11,6 % по сравнению с 2021 годом. Количество ДТП в 2020 году уменьшилось на 14 % по сравнению с 2019 годом. В 2021 году уменьшилось на 18 % по сравнению с 2020 годом. А в 2022 году уменьшилось еще на 9 % по сравнению с 2021 годом. Данные показатели говорят о том, что развитие ИТС в городе Белгороде в значительной степени повлияло на безопасность дорожного движения и является одним из перспективных направлений в области технологий мониторинга и управления транспортными потоками. Несмотря на уменьшение количества ДТП каждый год, оно все еще остается высоким, что подчеркивает важность данной проблемы и требует использования новых технологий для повышения безопасности на дорогах.

Большинство комплексов, предназначенных для мониторинга транспортных потоков и фиксации нарушений правил дорожного движения являются стационарными. Это ограничивает их способность реагировать на нарушения в разных районах или на разных участках дорог. Кроме этого, существуют различные устройства, позволяющие предупредить о наличии комплексов видеofиксации с помощью радар-детекторов или навигаторов, либо создающие искусственные помехи другим радаром, позволяющим скрыть реальную скорость проезжающего автомобиля. В отличие от стационарных комплексов, мобильный комплекс можно доставить на участок дороги в течении короткого промежутка времени для ситуативного контроля.

### ***Результаты***

В результате наблюдения в сфере существующих систем мониторинга на транспорте были рассмотрены камеры видеонаблюдения, инфракрасные датчики, радарные комплексы, GPS-трекеры, датчики с петлей индуктивности, рамки весогабаритного контроля, интеллектуальная транспортная система. Взяты результаты сбора и накопления статистической информации об аварийности на автомобильных дорогах за период с 2019 г. по 2023 г. В ходе сравнения приведенных систем мониторинга по первичным признакам, таким как принцип работы, технические характеристики, диапазон рабочих условий; и по вторичным признакам, таким как виды фиксируемых типов нарушений и параметров дорожных потоков, степени влияния на безопасность дорожного движения выявлено, что в настоящее время наилучшими качественными показателями обладают комбинированные системы, основанные на различных принципах работы в составе интеллектуальной транспортной системы. Результатом сравнения является умозаключение о том, что наиболее перспективном направлении развития систем мониторинга с точки зрения улучшения их качественных характеристик является внедрение в интеллектуальную транспортную систему дополнительных подсистем, например, позволяющих расширить диапазон применимости с точки зрения оперативности реагирования на изменение дорожной обстановки. Выявленные в ходе сравнения факты, сопоставленные с накопленной статистикой аварийности, позволили в результате индуктивного процесса выявить гипотезу об обратной зависимости показателей аварийности от степени внедрения различных систем транспортного мониторинга. Экстраполяция данного правила позволяет аргументировать необходимость создания качественно нового подхода в сфере транспортного мониторинга, который заключается в использовании беспилотных летательных аппаратов с целью повышения оперативности реагирования на изменение дорожной обстановки и повышения надежности фиксации нарушений.

### ***Обсуждение***

Итоговым результатом исследования является аргументация необходимости развития ИТС в вышеописанном направлении. Данный результат имеет высокую общественную значимость, так как направлен на повышение безопасности дорожного движения. Основным смыслом приведенного направления развития заключается в расширении возможности ситуативного контроля и снижении возможности обхода систем фиксации нарушений за счет применения комплексов на основе БЛА.

### **Выводы**

Исходя из вышесказанного, требуется создать такую систему мониторинга транспортных потоков, которая была бы мобильной и позволяла фиксировать различные виды нарушений на любом участке дороги. Одним из молодых и перспективных направлений, входящих в систему ИТС в области контроля нарушений ПДД и мониторинга транспортных потоков можно выделить использование беспилотных летательных аппаратов (БЛА) [24-26]. Необходимо создать такой мобильный комплекс на базе БЛА, который позволит оперативно выявлять нарушения на заданном участке дороги, контролировать поведение водителей транспортных средств, обеспечивая безопасность дорожного движения. В связи с тем, что данное направление в России только развивается, необходимо сформировать требования и разработать аппаратно-программный комплекс на базе БЛА, который позволит осуществлять мониторинг дорожного движения и фиксировать нарушения ПДД.

Таким образом, наиболее эффективной системой мониторинга транспортных потоков на сегодняшний день является интеллектуальная транспортная система в городе. В целом, развитие исследований в области мониторинга транспортных потоков и развитие системы ИТС имеют ключевое значение для оптимизации транспортной системы города в целом, обеспечения безопасного и эффективного движения, а также развития транспортной инфраструктуры.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Семенова Е.Д., Долженко К.М. Особенности транспортного потока в условиях развития городской агломерации // Современные автомобильные материалы и технологии (Самит -2020): Материалы международной научно-технической конференции. 2020. С. 324-327.
2. Кочерга, В.Г., Зырянов В.В., Коноплянка В.И. Интеллектуальные транспортные системы в дорожном движении: Учебное пособие. М.: Транспорт, 2001. 108 с.
3. Грабауров В.А. Интеллектуальная транспортная система как инновационная концепция развития транспорта // Наука и техника. 2014. №1. С. 63-69.
4. Маркелов В.М. Интеллектуальные транспортные системы как инструмент управления // Государственный Советник 2014. 2014. №3. С. 42-49.
5. Лукьяница А.А., Шишкин А.Г. Цифровая обработка видеозображений. М.: ООО «Ай-Эс-Си Пресс», 2009. 518 с.
6. Логинова О.А., Гатиятов Р.Р. Обзор существующих методов и технических средств учета интенсивности движения транспортного потока // Техника и технология транспорта. 2019. №S (11). С. 13.
7. Корчагин В.А., Новиков А.Н., Ляпин С.А., Ризаева Ю.Н. Сложные саморазвивающиеся транспортные системы // Мир транспорта и технологических машин. 2016. №2(53). С. 110-116.
8. Борисов Е.А., Теплов А.В., Кадермятова Д.Ш., Лобынцева О.А. Мониторинг транспортных потоков для определения характеристик к техническим средствам // Мировая наука. 2017. №9(9). С. 24-28.
9. Минниханов Р.Н., Нащёкин А.С. Интегрированная система мониторинга и контроля транспортных потоков // Наука и техника в дорожной отрасли. 2017. №1(79). С. 13-15.
10. Васильев А.П., Сиденко В.М. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения: Учебник для студентов вузов, обучающихся по спец. «Стр-во автомобильных дорог и аэродромов» / ред. А. П. Васильев. Москва: Транспорт, 1990. 304 с.
11. Daniel T., Lepers B. Automatic incident detection: a key tool for intelligent traffic management // Traffic technology international. Annual review. 1996. P. 158-162.
12. Jaffe R.S. The US National ITS Architecture // Traffic technology international. Part 2 Application. 1996. P. 71-75.
13. Свободная энциклопедия «Википедия» [Электронный ресурс] / GPS. Электрон. дан. М., 2023. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/GPS>.
14. Гудима Г.Я., Алецкий С.Н. Использование систем глонасс, gps и видеонаблюдения для мониторинга и управления дорожно-транспортными потоками // Вестник Камчатского государственного технического университета. 2011. №17. С. 40-43.
15. Малышев А.А., Воля А.П. Спутниковый мониторинг движения транспортного потока в белгородской агломерации // Образование. наука. Производство. 2022. С. 76-80.
16. Свободная энциклопедия «Википедия» [Электронный ресурс]. Индукционная петля. М., 2023. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D1%8F\\_%D0%BF%D0%B5%D1%82%D0%BB%D1%8F](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%B5%D1%82%D0%BB%D1%8F)
17. Тебеньков С.Е., Левашев А.Г. Особенности современных детекторов автомобильного транспорта // Вестник иркутского государственного технического университета. 2011. №6(53). С. 72-79.
18. Официальный сайт «ТРАССКОМ» [Электронный ресурс]. Как работают рамки весового контроля. М., 2023. URL: <https://trasscom.ru/blog/kak-rabotayut-ramki-vesovogo-kontrolya/>.

19. Свободная энциклопедия «Википедия» [Электронный ресурс]. Intelligent transportation system. М., 2023. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Intelligent\\_transportation\\_system](https://en.wikipedia.org/wiki/Intelligent_transportation_system).

20. Новиков И.А. Технические средства организации движения: учебно-методический комплекс. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2009. 302 с.

21. Официальный сайт ООО «Городские технологии» [Электронный ресурс]. Автоматизированная система весогабаритного контроля (АСВГК). М., 2023. URL: <https://techincity.ru/#rec75252936>.

22. Официальный сайт ООО «Городские парковки» [Электронный ресурс]. Интеллектуальный мониторинг дорожно-транспортной сети. М., 2023. URL: <https://gorparkovki.ru/#!/tab/30245232-1>.

23. Официальный сайт ГИБДД. [Электронный ресурс]. Показатели состояния безопасности дорожного движения. М., 2023. URL: <http://stat.gibdd.ru/>.

24. Беляев А.В., Сидоров А.А. Беспилотные летательные аппараты: применение в сфере обеспечения безопасности и контроля дорожного движения // Транспорт и экология. 2017. Т. 11. №1. С. 74-80.

25. Огнев В.А., Смирнов Д.М. Применение беспилотных летательных аппаратов в контроле за движением транспорта: достоинства и проблемы // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета. 2018. №1. С. 116-123.

26. Смородинов М.Ю. Использование беспилотных летательных аппаратов для фиксации нарушений ПДД // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер.: Экономическая наука. 2019. Т. 10. №2. С. 235-241.

**Загородний Николай Александрович**

Белгородский Государственный Технологический Университет им. В.Г. Шухова

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

К.т.н., зав. кафедрой эксплуатации и организации движения автотранспорта

E-mail: [n.zagorodnij@yandex.ru](mailto:n.zagorodnij@yandex.ru)

**Головкин Михаил Валерьевич**

Белгородский Государственный Технологический Университет им. В.Г. Шухова

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

Аспирант

E-mail: [mikhail.golovkin.1997@mail.ru](mailto:mikhail.golovkin.1997@mail.ru)

**Бондарь Алексей Сергеевич**

Белгородский Государственный Технологический Университет им. В.Г. Шухова

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

Магистр

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

---

N.A. ZAGORODNIY, M.V. GOLOVKIN, A.S. BONDAR

## RESEARCH OF PROMISING DIRECTIONS FOR THE DEVELOPMENT OF INFORMATION TRANSPORT SYSTEMS

***Abstract.** This article conducts a study of the prospects for the development of information transport systems, the purpose of which is to study existing technologies for monitoring traffic flows to improve the safety and efficiency of road traffic. The article discusses existing methods for collecting and processing data on traffic flows, as well as the impact of monitoring on traffic safety. The objective of the study is to determine the most progressive and effective monitoring technologies and the practice of their application. The article also analyzes the results of using an intelligent transport system in the city of Belgorod and its impact on reducing accident rates. The findings indicate the importance of developing further research in the field of monitoring to optimize the city's transport system and infrastructure development.*

***Keywords:** monitoring of traffic flows, recording violations, traffic safety, intelligent transport system, road accidents*

### BIBLIOGRAPHY

1. Semenova E.D., Dolzhenko K.M. Osobennosti transportnogo potoka v usloviyakh razvitiya gorodskoy aglomeratsii // Sovremennye avtomobil'nye materialy i tekhnologii (Samit -2020): Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. 2020. S. 324-327.

2. Kocherga, V.G., Zyryanov V.V., Konoplyanka V.I. Intellektual'nye transportnye sistemy v dorozhnom dvizhenii: Uchebnoe posobie. М.: Transport, 2001. 108 s.

3. Grabaurov V.A. Intellektual'naya transportnaya sistema kak innovatsionnaya kontseptsiya razvitiya transporta // Nauka i tekhnika. 2014. №1. S. 63-69.

4. Markelov V.M. Intellektual'nye transportnye sistemy kak instrument upravleniya // Gosudarstvennyy Sovetnik 2014. 2014. №3. S. 42-49.

5. Luk`yanitsa A.A., Shishkin A.G. Tsifrovaya obrabotka videoizobrazheniy. M.: OOO «Ay-Es-Si Press», 2009. 518 s.
6. Loginova O.A., Gatiyatov R.R. Obzor sushchestvuyushchikh metodov i tekhnicheskikh sredstv ucheta intensivnosti dvizheniya transportnogo potoka // Tekhnika i tekhnologiya transporta. 2019. №S (11). S. 13.
7. Korchagin V.A., Novikov A.N., Lyapin S.A., Rizaeva Yu.N. Slozhnye samorazvivayushchiesya transportnye sistemy // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2016. №2(53). S. 110-116.
8. Borisov E.A., Teplov A.V., Kadermyatova D.SH., Lobyntseva O.A. Monitoring transportnykh potokov dlya opredeleniya kharakteristik k tekhnicheskim sredstvam // Mirovaya nauka. 2017. №9(9). S. 24-28.
9. Minnikhanov R.N., Nashchiokin A.S. Integrirovannaya sistema monitoringa i kontrolya transportnykh potokov // Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli. 2017. №1(79). S. 13-15.
10. Vasil`ev A.P., Sidenko V.M. Eksploatatsiya avtomobil`nykh dorog i organizatsiya dorozhnogo dvizheniya: Uchebnik dlya studentov vuzov, obuchayushchikhsya po spets. «Str-vo avtomobil`nykh dorog i aerodromov» / red. A. P. Vasil`ev. Moskva: Transport, 1990. 304 s.
11. Daniel T., Lepers B. Automatic incident detection: a key tool for intelligent traffic management // Traffic technology international. Annual review. 1996. R. 158-162.
12. Jaffe R.S. The US National ITS Architecture // Traffic technology international. Part 2 Application. 1996. R. 71-75.
13. Svobodnaya entsiklopediya «Vikipediya» [Elektronnyy resurs] / GPS. Elektron. dan. M., 2023. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/GPS>.
14. Gudima G.Ya., Aletskiy S.N. Ispol`zovanie sistem glonass, gps i videonablyudeniya dlya monitoringa i upravleniya dorozhno-transportnymi potokami // Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2011. №17. S. 40-43.
15. Malyshev A.A., Volya A.P. Sputnikovyy monitoring dvizheniya transportnogo potoka v belgorodskoy aglomeratsii // Obrazovanie. nauka. Proizvodstvo. 2022. S. 76-80.
16. Svobodnaya entsiklopediya «Vikipediya» [Elektronnyy resurs]. Induktsionnaya petlya. M., 2023. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F\\_%D0%BF%D0%B5%D1%82%D0%BB%D1%8F](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%B5%D1%82%D0%BB%D1%8F)
17. Teben`kov S.E., Levashev A.G. Osobennosti sovremennykh detektorov avtomobil`nogo transporta // Vestnik irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2011. №6(53). S. 72-79.
18. Ofitsial`nyy sayt «TRASSKOM» [Elektronnyy resurs]. Kak rabotayut ramki vesovogo kontrolya. M., 2023. URL: <https://trasscom.ru/blog/kak-rabotayut-ramki-vesovogo-kontrolya/>.
19. Svobodnaya entsiklopediya «Vikipediya» [Elektronnyy resurs]. Intelligent transportation system. M., 2023. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Intelligent\\_transportation\\_system](https://en.wikipedia.org/wiki/Intelligent_transportation_system).
20. Novikov I.A. Tekhnicheskie sredstva organizatsii dvizheniya: uchebno-metodicheskiy kompleks. Belgorod: BGTU im. V.G. Shukhova, 2009. 302 s.
21. Ofitsial`nyy sayt OOO «Gorodskie tekhnologii» [Elektronnyy resurs]. Avtomatizirovannaya sistema vesogabaritnogo kontrolya (ASVGK). M., 2023. URL: <https://techincity.ru/#rec75252936>.
22. Ofitsial`nyy sayt OOO «Gorodskie parkovki» [Elektronnyy resurs]. Intellektual`nyy monitoring dorozhno-transportnoy seti. M., 2023. URL: <https://gorparkovki.ru/#!/tab/30245232-1>.
23. Ofitsial`nyy sayt GIBDD. [Elektronnyy resurs]. Pokazateli sostoyaniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya. M., 2023. URL: <http://stat.gibdd.ru/>.
24. Belyaev A.V., Sidorov A.A. Bepilotnye letatel`nye apparaty: primeneniye v sfere obespecheniya bezopasnosti i kontrolya dorozhnogo dvizheniya // Transport i ekologiya. 2017. T. 11. №1. S. 74-80.
25. Ognev V.A., Smirnov D.M. Primeniye bepilotnykh letatel`nykh apparatov v kontrole za dvizheniem transporta: dostoinstva i problemy // Vestnik Moskovskogo avtomobil`no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2018. №1. S. 116-123.
26. Smorodinov M.Yu. Ispol`zovanie bepilotnykh letatel`nykh apparatov dlya fiksatsii narusheniy PDD // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Ekonomicheskaya nauka. 2019. T. 10. №2. S. 235-241.

**Zagorodnyy Nikolay Alexandrovich**

Belgorod State Technological University  
Address: 308012, Russia, Belgorod, st. Kostyukova, 46  
Candidate of technical sciences  
E-mail: n.zagorodnij@yandex.ru

**Bondar Alexey Sergeevich**

Belgorod State Technological University  
Address: 308012, Russia, Belgorod, st. Kostyukova, 46  
Master  
E-mail: aaiwprtony@yandex.ru

**Golovkin Mikhail Valerievich**

Belgorod State Technological University  
Address: 308012, Russia, Belgorod, st. Kostyukova, 46  
Postgraduate student  
E-mail: mixail.golovkin.1997@mail.ru

Научная статья

УДК 629.1

doi:10.33979/2073-7432-2024-1-1(84)-48-55

А.Ю. РОДИЧЕВ, И.В. РОДИЧЕВА, К.В. ВАСИЛЬЕВ, И.В. КОЛПАКОВ

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРИРАБОТКИ АНТИФРИКЦИОННЫХ ТВЕРДОСМАЗОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

**Аннотация.** В статье представлен краткий анализ применяемых твердосмазочных покрытий. Рассмотрен экспериментальный стенд для исследования процесса притирки твердосмазочных антифрикционных покрытий в подшипниковых узлах скольжения. Дано описание измерений значений шероховатости притираемой поверхности с помощью профилометра MarSurf PS10. Представлены полученные зависимости изменения частоты вращения ротора от времени для различных антифрикционных твердосмазочных покрытий. Даны выводы и рекомендации по дальнейшему применению антифрикционных твердосмазочных покрытий в узлах трения.

**Ключевые слова:** подшипник скольжения, твердосмазочное покрытие, выбег, эксперимент.

### Введение

Для уменьшения механических потерь и увеличения износостойкости деталей, узлов и агрегатов, функционирующих при любом виде трения (сухом, граничном, жидкостном), широко используют твердые смазочные материалы в форме тонких покрытий. Такие покрытия обычно состоят из связующего вещества на основе синтетических смол и одного или нескольких антифрикционных элементов, чаще всего - графита и дисульфида молибдена. Именно связующее вещество определяет основные эксплуатационные качества покрытия и температурный диапазон его использования, хотя само по себе оно не участвует в процессе смазывания [1-3]. Применение твердосмазочных покрытий диктуется необходимостью работы узлов и агрегатов транспортных средств при повышенных нагрузках, а также стремлением снизить материалоемкость и потери на механическое трение с помощью их применения [4-6]. Ярким примером этому могут служить твердосмазочные покрытия на поверхностях вкладышей подшипников скольжения, юбок поршней в двигателях внутреннего сгорания, а также на деталях цилиндропоршневых групп компрессоров и других видов оборудования [7-11]. Известно, что крупнейшие мировые производители подшипников (Federal-Mogul, Mahle, King Bearings), активно разрабатывают и выпускают вкладыши подшипников коленчатого вала с твердосмазочными покрытиями для двигателей различных типов, включая легковые и грузовые автомобили.

В настоящее время на рынке представлен широкий ассортимент твердосмазочных покрытий зарубежного и отечественного производства, из всего многообразия можно выделить наиболее распространенные, такие как: Molykote (Германия), Grafal MAHLE, (Германия), MODENGY (РФ), ВМП Авто (РФ). При этом, стоит отметить, что качество отечественных твердосмазочных покрытий не уступает зарубежным, а иногда и превосходит, также не маловажным является показатель «цена - качество», так как отечественные покрытия имеют более доступную цену, широкую номенклатуру и могут быть приобретены в минимальные сроки, что немаловажно при политике применения санкций против нашей страны.

### Материал и методы

Исследования влияния твердосмазочных покрытий на работу узлов трения в основном носят экспериментальный характер [12-14]. При их проведении было установлено, что современные твердосмазочные материалы, содержащие органические или комплексные соединения, имеют высокие триботехнические характеристики.

Коэффициент трения при использовании твердосмазочных покрытий может колебаться от 0,004 до 0,03, а нижний предел этого диапазона близок к минимальному значению коэффициента трения, как при использовании жидкой смазки [15].

Известны экспериментальные исследования [16] по изучению топографии, структуры и свойств поверхностей с покрытиями из дисульфида молибдена на разных стадиях износа. Эксперименты проводились с использованием машины трения, в результате которых были получены графики зависимости износа и коэффициента трения от параметра, определяющего износ. В ходе проведения исследований учеными были выделены четыре стадии износа твердосмазочных покрытий. Особый интерес представляют данные, полученные Сутягиным О.В. и его коллегами, по характеристикам микрогеометрии образцов с твердосмазочным покрытием и без, на разных этапах тестирования. В процессе испытаний было установлено, что параметры микрогеометрии образцов изменяются из-за износа и формирования слоя переноса. В частности, значение параметра  $Ra$  для образцов без твердосмазочного покрытия уменьшается вдвое, а для образцов с твердосмазочным покрытием - более чем в пять раз.

Как уже было сказано выше, большинство исследований твердосмазочных покрытий проводится по стандартным методикам, которые не всегда отражают фактические возможности покрытий данного вида и не дают представления о формировании рабочей поверхности трения в процессе их эксплуатации, в частности, о режимах приработки покрытий такого вида [17, 18].

Для проведения исследования нами была разработана экспериментальная установка (рис. 1), которая имеет в своем составе: два разъемных подшипниковых узла скольжения; возможность подавать смазочный материал непосредственно в каждый из узлов скольжения; асинхронный электродвигатель АИР 63А4 установленный на основании, который соединён с валом экспериментальной установки через эластичную муфту.

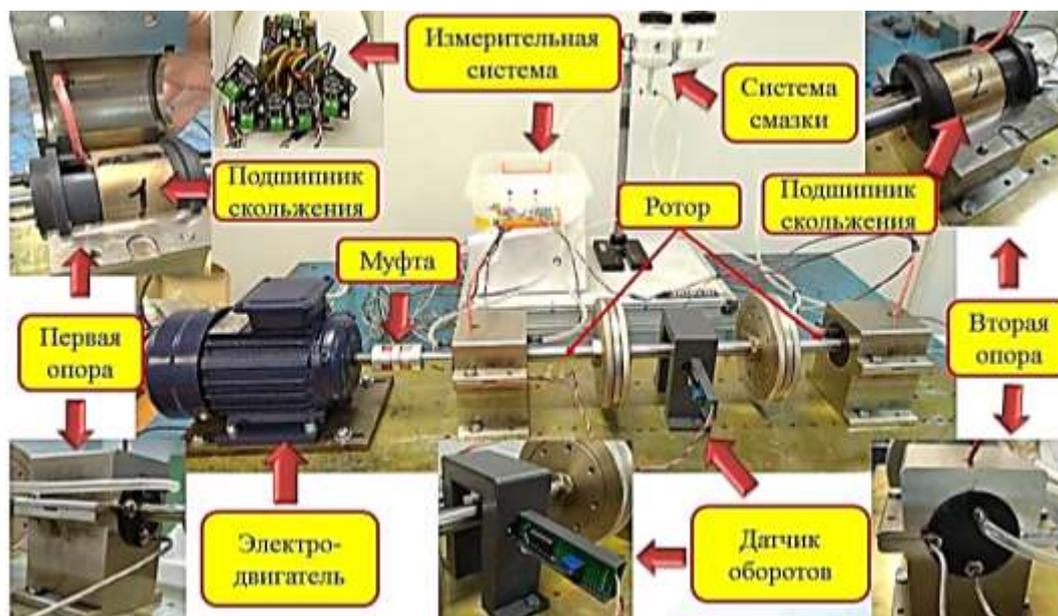


Рисунок 1 – Структурная схема экспериментальной установки

На основании экспериментальной установки расположена стойка с датчиком частоты вращения вала. Каждый из опорных подшипниковых узлов скольжения состоит из: корпуса, верхней, правой и левой крышки, а также установленного между ними исследуемого нами подшипника скольжения. Для предотвращения течи масла между валом и крышками в конструкции крышек предусмотрена установка манжет (сальников): WLR TC 17x26x7 и WLR TC 12x25x5. Для подачи смазочного материала в подшипниковые узлы в левой и правой крышке предусмотрены отверстия куда устанавливаются жиклеры, а также предусмотрены резьбовые отверстия для установки датчиков температуры. Для каждого подшипникового узла используется отдельная емкость со смазочным материалом. Экспериментальная установка

имеет свою контроль-измерительную систему, которая получает, обрабатывает и сохраняет информацию о состоянии подшипниковых узлов скольжения и режимах работы экспериментальной установки в каждый момент времени [19-21].

### Теория

Для определения поведения твердосмазочного покрытия, в условиях эксплуатации, на рабочей поверхности подшипника скольжения нами было принято решение по проведению серии экспериментов с подшипниками скольжения (рис. 2), изготовленными по разным технологиям и с применением различных материалов:

- 1) подшипники скольжения, изготовленные из бронзы;
- 2) подшипники скольжения, изготовленные из бронзы, с нанесенным твердосмазочным покрытием фирмы Molykote (Германия);
- 3) подшипники скольжения, изготовленные из бронзы, с нанесенным твердосмазочным покрытием фирмы MODENGY (РФ).

Для проведения экспериментальных исследований были изготовлены девять подшипников скольжения по три каждого вида.

Исследование параметров шероховатости, изготовленных образцов, проводили на профилометре MarSurf PS10 (рис. 3).

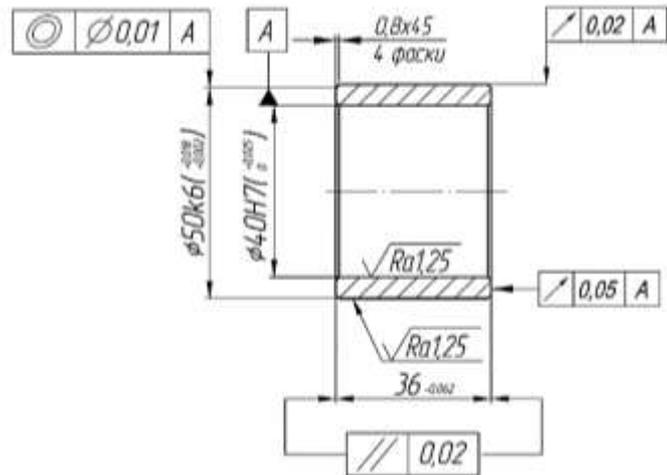


Рисунок 2 – Эскиз подшипника скольжения



Рисунок 3 – Измерение шероховатости подшипника скольжения на профилометре MarSurf PS10

Порядок проведения экспериментальных исследований [22] включал следующие этапы: первый этап - разгон ротора до 1400-1500 об./мин с помощью электродвигателя; второй этап – выдерживание работы экспериментальной установки с частотой вращения ротора 1400-1500 об./мин в течении трех минут; третий этап – остановка электродвигателя; четвертый этап – выбег ротора до полной остановки, под действием сил инерции и сил трения в подшипниковых узлах скольжения.

В качестве смазочного материала использовалось масло И-20А. В течение времени проведения эксперимента с заданным шагом в разработанном программном обеспечении фиксировались показания датчика частоты вращения. Результаты эксперимента в графическом виде представляют собой кривую выбега ротора. Кроме того, разработанным программным обеспечением предусмотрен экспорт данных в текстовый файл, для удобства дальнейшей обработки данных.

### Результаты и обсуждение

В ходе проведения эксперимента было сделано по 60 пусков – остановов экспериментальной установки для каждого из девяти исследуемых подшипников скольжения. После ана-

лиза результатов были выделены наиболее значимые показатели, которые позволяют описать процесс приработки рабочей поверхности скольжения с высокой точностью. Также важно отметить, что на разных стадиях приработки образцы с покрытием и без ведут себя по-разному, что необходимо учитывать при разработке новых покрытий и методов их нанесения.

Результаты экспериментальных исследований с образцами подшипников скольжения изготовленных из бронзы представлены на рисунках 4 и 5.

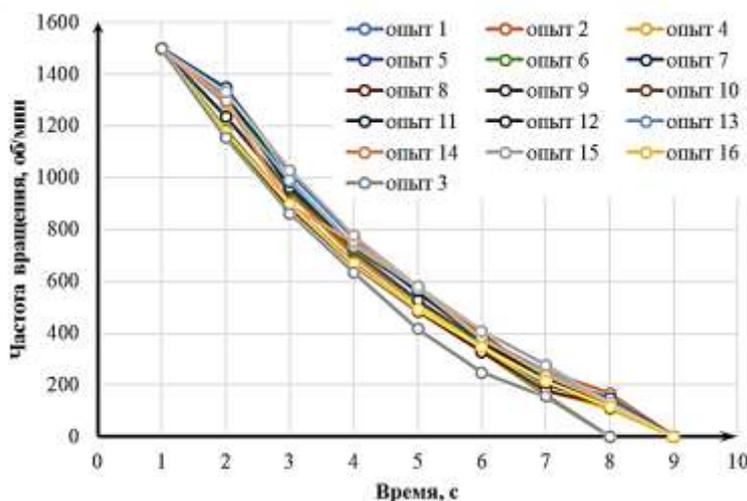


Рисунок 4 – Изменение частоты вращения ротора от времени (материал – бронза)



Рисунок 5 – Параметры шероховатости подшипника скольжения (материал – бронза)

Эксперимент с одним комплектом втулок проходил непрерывно в течении трех часов (180 минут чистого времени) было совершено 60 пусков-остановов электродвигателя. Выбег после остановки электродвигателя составил в течение первой фазы эксперимента (20 пусков-остановов) 8 секунд, во второй фазе эксперимента (20 пусков-остановов) от 8 до 9 секунд и в третьей фазе эксперимента (20 пусков-остановов) 9 секунд, при этом параметры шероховатости поверхности втулки практически не изменились. Риски, сколы и другие элементы износа на поверхности исследуемых подшипников скольжения обнаружены небыли.

Результаты экспериментальных исследований с образцами подшипников скольжения изготовленных с использованием твердого антифрикционного покрытия Molykote представлены на рисунках 6 и 7.

Эксперимент с одним комплектом втулок проходил непрерывно в течении трех часов (180 минут чистого времени) было совершено 60 пусков-остановов электродвигателя. Выбег после остановки электродвигателя составил в течение первой фазы эксперимента (20 пусков-остановов) от 6 до 7 секунд, во второй фазе эксперимента (20 пусков-остановов) от 7 до 10 секунд и в третьей фазе эксперимента (20 пусков-остановов) от 10 до 11 секунд, при этом параметры шероховатости поверхности втулки практически значительно изменились от  $Ra = 8$  мкм в начале эксперимента до  $Ra = 1,2$  мкм в его конце. Риски, сколы и другие элементы износа на поверхности исследуемых подшипников скольжения обнаружены небыли.

Результаты экспериментальных исследований с образцами подшипников скольжения изготовленных с использованием твердого антифрикционного покрытия MODENGY представлены на рисунке 8 и рисунке 9.

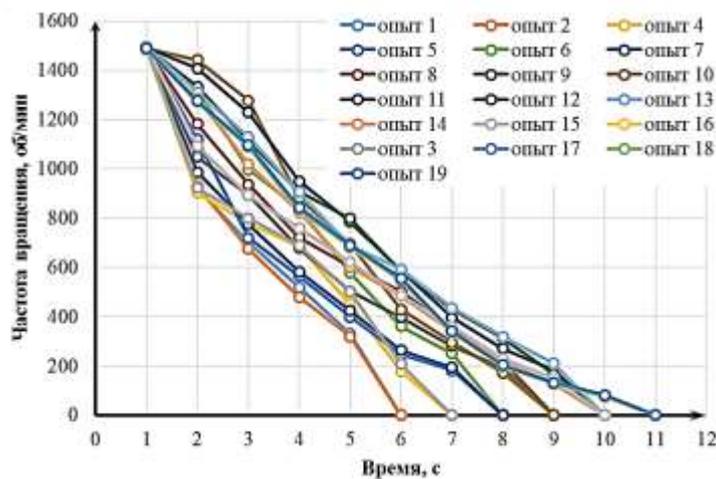


Рисунок 6 – Изменение частоты вращения ротора от времени (материал – Molykote)



Рисунок 7 – Параметры шероховатости подшипника скольжения (материал – Molykote)

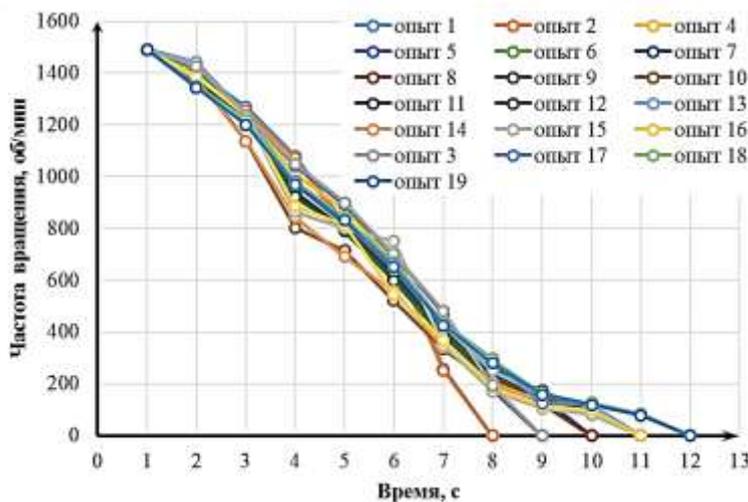


Рисунок 8 – Изменение частоты вращения ротора от времени (материал – MODENGY)



Рисунок 9 – Параметры шероховатости подшипника скольжения (материал – MODENGY)

Эксперимент с одним комплектом втулок проходил непрерывно в течении трех часов (180 минут чистого времени) было совершено 60 пусков-остановов электродвигателя. Выбег после остановки электродвигателя составил в течение первой фазы эксперимента (20 пусков-остановов) от 8 до 9 секунд, во второй фазе эксперимента (20 пусков-остановов) от 9 до 11 секунд и в третий фазе эксперимента (20 пусков-остановов) от 11 до 12 секунд, при этом пара-

метры шероховатости поверхности втулки практически значительно изменились от  $Ra = 8-11$  мкм в начале эксперимента до  $Ra = 1-1,2$  мкм в его конце. Риски, сколы и другие элементы износа на поверхности исследуемых подшипников скольжения обнаружены небыли.

По результатам, полученным в ходе эксперимента, проведем аппроксимацию полученных значений и построим графики выбега ротора в подшипниках скольжения, которые были изготовлены с использованием твердого антифрикционного покрытия и без него (рис. 10).

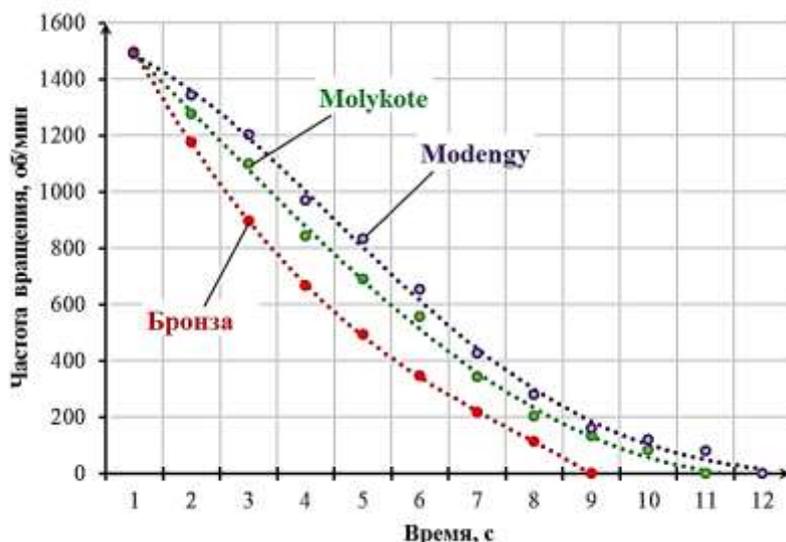


Рисунок 10 - Сравнение аппроксимированных значений выбега ротора в подшипниках скольжения с различным антифрикционным покрытием

### Выводы

На основе результатов проведенных исследований процесса приработки антифрикционных твердосмазочных покрытий в процессе эксплуатации подшипников скольжения можно сделать следующие выводы:

- 1) для длительного использования подшипников скольжения с антифрикционным твердосмазочным покрытием необходимо применять процесс приработки поверхности;
- 2) процесс приработки покрытий может быть ускорен за счет правильного выбора параметров эксплуатации, таких как скорость скольжения, нагрузка и температура;
- 3) изменение частоты вращения ротора от времени показывает, что выбег существенно увеличивается при применении антифрикционных твердосмазочных покрытий, косвенным образом показывая уменьшение коэффициента трения;
- 4) наиболее эффективным является в представленном случае является антифрикционное твердосмазочное покрытие производителя MODENGY.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брейтуэйт Е.Р. Твердые смазочные материалы и антифрикционные покрытия. М.: Химия, 1967. 320с.
2. Буяновский И.А. Граничная смазка / Под ред. К.В. Фролова // Современная трибология: итоги и перспективы. М.: ЛКИ. 2008. С. 226-278.
3. Буяновский И.А. Граничная смазка адсорбционным слоем // Трение и износ. 2010. Т. 31. №1. С.48-67.
4. Радин Ю.А., Суслов П.Г. Безызнаемость деталей машин при трении. Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1989. 229 с.
5. Трибология. Состояние и перспективы: сборник научных трудов / под ред. С.М. Захарова и И.А. Буяновского. В 4-х томах. Т.2. Смазка и смазочные материалы. Уфа: РИК УГАТУ. 2019. 504 с.
6. Венцель С.В., Лелюк В.А. Результаты исследования приработки пар трения // Теория смазочного действия и новые материалы. М.: Наука. 1965. С. 81-85.
7. Adam A., Joachim Häring, Stefan Rittmann, Wilhelm M. Polymergleitlager mit umfassendem Anwendungsspektrum in Verbrennungsmotoren // MTZ. №05. 2020. P. 72-82.
8. Adam A., Prefot M., Wilhelm M. Kurbelwellenlager für motoren mit start-stop-system // MTZ. №12. 2010. P. 886-890.
9. Lakshminarayana R.T. Tribological performance of different crankshaft bearings in conjunction with textured shaft surfaces. Mechanical Engineering, master's level. 2017. DOI: 10.13140/RG.2.2.24537.57445.
10. Hoppe S., Arnold G. How Trends in Lubrication Development Impact Sliding Bearings and Piston Rings // ATZextra Worldw 21. 2016. P. 44-49.

11. Пронин М.Д. Снижение механических потерь совершенствованием конструкции поршня быстрогоходного дизеля: автореферат дис. ... канд. техн. наук. Москва. 2009. 18 с.
12. Сутягин О.В. Научные основы инженерных методов проектирования три-ботехнических систем с твердосмазочными покрытиями: автореферат дис. ... д-ра техн. наук. Тверь. 2015. 39 с.
13. Хопин П.Н. Оценка долговечности пар трения с твердосмазочными покрытиями различных составов отечественного и зарубежного производства // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. №1. 2018. С. 84-93. DOI 10.18698/0536-1044-2018-1-84-93.
14. Криони Н.К. Повышение работоспособности по триботехническим параметрам высокотемпературных подвижных сопряжений с твердыми покрытиями: автореферат дис. ... д-ра техн. наук. Москва. 2005.
15. Радин Ю.А., Суслов П.Г. Безызносность деталей машин при трении. Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1989. 229 с.
16. Сутягин О.В., Болотов А.Н., Мешков В.В., Зоренко Д.А., Васильев М.В. Эволюция твердосмазочных покрытий, содержащих дисульфид молибдена, в процессе изнашивания // Трение и смазка в машинах и механизмах. №12. 2013. С. 37-48.
17. Авдонькин Ф.Н., Денисов А.С. Прогнозирование изменения технического состояния подшипников коленчатого вала // Автомобильная промышленность. 1975. №7. С. 4-5.
18. Авдонькин, Ф.Н. Изменение технического состояния автомобиля в процессе эксплуатации. Саратов: СГУ им. Н.Г. Чернышевского, 1973. 191 с.
19. Способ изготовления подшипника скольжения с возможностью диагностики предельного изнашивания рабочей поверхности: пат. 2783323 Российская Федерация №2022114024 / Родичев А.Ю., Поляков Р.Н., Горин А.В., Родичева И.В., Фетисов А.С.; заявл. 24.05.22; опубл. 11.11.22, Бюл. №32. 8 с.
20. Программа мониторинга состояния подшипника скольжения в реальном времени и предиктивной диагностики предельного изнашивания рабочей поверхности: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2022618435 Российская Федерация №2022617494 / Родичев А.Ю., Поляков Р.Н., Настепанин К.К., Попов С.Г., Родичева И.В.; заявл. 25.04.22; опубл. 06.05.22.
21. Прошивка контроллера «Arduino» для мониторинга состояния подшипников скольжения в реальном времени: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2022663479 Российская Федерация №2022662064 / Родичев А.Ю., Поляков Р.Н., Настепанин К.К., Горин А.В., Родичева И.В., Стебаков И.Н.; заявл. 27.06.22; опубл. 14.07.22.
22. Корнаев А.В., Чичварин А.В., Смирнов В.П., Корнаева Е.П., Лебединский В.И., Ноздричкин М.С. Влияние нанодобавок на трибологические и динамические свойства смазки подшипников // Мир транспорта и технологических машин. №4(47). 2014. С. 18-26.

**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

**Родичева Ирина Владимировна**

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

**Васильев Кирилл Владимирович**

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

**Колпаков Иван Владимирович**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева  
Адрес: 302030, Россия, г. Орел, ул. Московская, д. 77  
Студент  
E-mail: n0x1us666@yandex.ru

---

A. Yu. RODICHEV, I. V. RODICHEVA, K. V. VASILIEV, I. V. KOLPAKOV

**INVESTIGATION OF THE PROCESS OF RUNNING-IN OF ANTI-FRICTION HARD-LUBRICATING COATINGS DURING THE OPERATION OF PLAIN BEARINGS**

*Abstract. The article presents a brief analysis of the hard-lubricating coatings used. An experimental stand for the study of the lapping process of hard-lubricating anti-friction coatings in sliding bearing assemblies is considered. The description of measurements of the roughness values of the lapped surface using the MarSurf PS10 profilometer is given. The obtained dependences of the rotor rotation frequency change on time for various anti-friction hard-lubricating coatings are presented.*

*Conclusions and recommendations on the further use of antifriction hard-lubricating coatings in friction units are given.*

*Keywords: sliding bearing, hard-lubricating coating, run-out, experiment*

## BIBLIOGRAPHY

1. Breytueyt E.R. Tverdye smazochnye materialy i antifriktsionnye pokrytiya. M.: Himiya, 1967. 320s.
2. Buyanovskiy I.A. Granichnaya smazka / Pod red. K.V. Frolova // *Sovremennaya tribologiya: itogi i perspektivy*. M.: LKI. 2008. S. 226-278.
3. Buyanovskiy I.A. Granichnaya smazka adsorbtsionnym sloem // *Trenie i iznos*. 2010. T. 31. №1. S.48-67.
4. Radin Yu.A., Suslov P.G. Bezyznosnost` detaley mashin pri trenii. L.: Mashinostroenie. Leningr. otdelenie, 1989. 229 s.
5. Tribologiya. Sostoyanie i perspektivy: sbornik nauchnykh trudov / pod red. S.M. Zakharova i I.A. Buyanovskogo. V 4-kh tomakh. T.2. Smazka i smazochnye materialy. Ufa: RIK UGATU. 2019. 504 s.
6. Ventsel` S.V., Lelyuk V.A. Rezul`taty issledovaniya prirabotki par treniya // *Teoriya smazochnogo deystviya i novye materialy*. M.: Nauka. 1965. S. 81-85.
7. Adam A., Joachim Hring, Stefan Rittmann, Wilhelm M. Polymergleitlager mit umfassendem Anwendungsspektrum in Verbrennungsmotoren // *MTZ*. №05. 2020. P. 72-82.
8. Adam A., Prefot M., Wilhelm M. Kurbelwellenlager for motoren mit start-stop-system // *MTZ*. №12. 2010. P. 886-890.
9. Lakshminarayana R.T. Tribological performance of different crankshaft bearings in conjunction with textured shaft surfaces. Mechanical Engineering, master's level. 2017. DOI: 10.13140/RG.2.2.24537.57445.
10. Hoppe S., Arnold G. How Trends in Lubrication Development Impact Sliding Bearings and Piston Rings // *ATZextra* Worldw 21. 2016. R. 44-49.
11. Pronin M.D. Snizhenie mekhanicheskikh poter` sovershenstvovaniem konstruksii porshnya bystrokhodnogo dizelya: avtoreferat dis. ... kand. tekhn. nauk. Moskva. 2009. 18 s.
12. Sutyagin O.V. Nauchnye osnovy inzhenernykh metodov proektirovaniya tribotekhnicheskikh sistem s tverd-smazochnymi pokrytiami: avtoreferat dis. ... d-ra tekhn. nauk. Tver`. 2015. 39 s.
13. Hopin P.N. Otsenka dolgovechnosti par treniya s tverd-smazochnymi pokrytiami razlichnykh sostavov otechestvennogo i zarubezhnogo proizvodstva // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie*. №1. 2018. S. 84-93. DOI 10.18698/0536-1044-2018-1-84-93.
14. Krioni N.K. Povyshenie rabotosposobnosti po tribotekhnicheskim parametram vysokotemperaturnykh podvizhnykh sopryazheniy s tverdymi pokrytiami: avtoreferat dis. ... d-ra tekhn. nauk. Moskva. 2005.
15. Radin Yu.A., Suslov P.G. Bezyznosnost` detaley mashin pri trenii. L.: Mashinostroenie. Leningr. otdelenie, 1989. 229 s.
16. Sutyagin O.V., Bolotov A.N., Meshkov V.V., Zorenko D.A., Vasil`ev M.V. Evolyutsiya tverd-smazochnykh pokrytiy, soderzhashchikh disulfid molibdena, v protsesse iznashivaniya // *Trenie i smazka v mashinakh i mekhanizmach*. №12. 2013. S. 37-48.
17. Avdon`kin F.N., Denisov A.S. Prognozirovaniye izmeneniya tekhnicheskogo sostoyaniya podshipnikov kolenchatogo vala // *Avtomobil`naya promyshlennost`*. 1975. №7. S. 4-5.
18. Avdon`kin, F.N. Izmeneniye tekhnicheskogo sostoyaniya avtomobilya v protsesse ekspluatatsii. Saratov: SGU im. N.G. Chernyshevskogo, 1973. 191 s.
19. Sposob izgotovleniya podshipnika skol`zheniya s vozmozhnost`yu diagnostiki predel`nogo iznashivaniya rabochey poverkhnosti: pat. 2783323 Rossiyskaya Federatsiya №2022114024 / Rodichev A.Yu., Polyakov R.N., Gorin A.V., Rodicheva I.V., Fetisov A.S.; zayavl. 24.05.22; opubl. 11.11.22, Byul. №32. 8 s.
20. Programma monitoringa sostoyaniya podshipnika skol`zheniya v real`nom vremeni i prediktivnoy diagnostiki predel`nogo iznashivaniya rabochey poverkhnosti: svidetel`stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM 2022618435 Rossiyskaya Federatsiya №2022617494 / Rodichev A.Yu., Polyakov R.N., Nastepanin K.K., Popov S.G., Rodicheva I.V.; zayavl. 25.04.22; opubl. 06.05.22.
21. Proshivka kontrollera «Arduino» dlya monitoringa sostoyaniya podshipnikov skol`zheniya v real`nom vremeni: svidetel`stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM 2022663479 Rossiyskaya Federatsiya №2022662064 / Rodichev A.Yu., Polyakov R.N., Nastepanin K.K., Gorin A.V., Rodicheva I.V., Stebakov I.N.; zayavl. 27.06.22; opubl. 14.07.22.
22. Kornaev A.V., Chichvarin A.V., Smirnov V.P., Kornaeva E.P., Lebedinskiy V.I., Nozdrihkin M.S. Vliyanie nanodobavok na tribologicheskie i dinamicheskie svoystva smazki podshipnikov // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. №4(47). 2014. S. 18-26.

### **Rodichev Aleksey Yrievich**

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

### **Kolpakov Ivan Vladimirovich**

Orel State University  
Adress: 302026, Russia, Orel, Moscovskaya str., 77  
Student  
E-mail: n0x1us666@yandex.ru

### **Rodicheva Irina Vladimirovna**

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

### **Vasiliev Kirill Vladimirovich**

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

Научная статья

УДК 656.13

doi:10.33979/2073-7432-2024-1-1(84)-56-62

Р.Ф. ШАЙХОВ

## КОНТРОЛЬ ДИНАМИЧЕСКОГО ГАБАРИТА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

**Аннотация.** Целью данного исследования является разработка системы для контроля и информирования водителя о безопасной дистанции до движущегося впереди транспортного средства. Динамический габарит автомобиля зависит от большого числа факторов и может меняться в течение одной поездки, недостаток опыта или переутомление водителя могут стать причиной несоблюдения дистанции и, как следствие, дорожно-транспортного происшествия. Разработана компьютерная программа с применением нейронных сетей, позволяющая определять динамический габарит транспортного средства в зависимости от условий эксплуатации. Результаты расчета программы отличаются от экспериментальных исследований не более чем на 3,5 %.

**Ключевые слова:** тормозной путь, динамический габарит, дорожно-транспортное происшествие, нейронные сети, система помощи водителю

### Введение

Во всем мире за год на дорогах погибают около 1,3 млн. человек и получают ранения различной степени тяжести более 50 миллионов. По числу погибших и раненых в ДТП Россия занимает двенадцатое место в мире. В прошлом году в нашей стране в результате ДТП погибло более 14 тысяч человек, пострадало свыше 160 тысяч человек [1]. Самой распространенной причиной аварий, является человеческий фактор: невнимательность, нарушение скоростного режима и пренебрежение правилами ПДД, несоблюдение режима отдыха, алкоголь. Также важную роль играет техническое состояние транспортного средства, качество запасных частей [2] и работ по обслуживанию и ремонту [3-5]. Правильный выбор скоростного режима и дистанции в потоке транспортных средств зависит от дорожных условий и прежде всего от коэффициента сцепления колес с дорогой. Как правило, водители определяют дистанцию и скоростной режим исходя из собственного опыта, однако, во-первых, дорожные условия могут в любой момент измениться, во-вторых, водитель может утомиться и принимать ошибочные решения.

Снижение влияния человеческого фактора возможно за счет применения технологий автономного вождения и совершенствование систем помощи водителю (ADAS). Согласно исследованию, проведенному Intel и Strategy Analytics [6], переход на автономные машины только за 10 лет в период 2035-2045 гг., сохранит полмиллиона жизней людей по всему миру (не считая нелетальных травм). В настоящий момент практически все крупные автопроизводители реализуют проекты, направленные на создание частично или полностью автономных транспортных средств, но большинство этих проектов будут использоваться в сегменте коммерческих автомобилей или автомобилей премиум-класса. Примером автомобилей премиум-класса является Tesla и ее автопилот [7], которые распознают различные типы объектов при движении. Лучшие видеорегистраторы, как правило, корейского производства Thinkware, Iroad и BlackVue имеют определенный набор элементов системы ADAS, предназначены только для идентификации объектов с помощью видеокамеры. Среди отечественных производителей наибольшие успехи достигнуты ПАО «КАМАЗ». Разработаны модели беспилотного транспорта грузовых автомобилей и автобусов, наиболее известны такие проекты как «Шатл» [8] и «Одиссей» [9].

За последние 5 лет наблюдается рост количества исследований, связанных с применением систем искусственного интеллекта на транспорте. В результате анализа 1344 статей, размещенных на сайте научной электронной библиотеки elibrary установлено, что в 2021 году произошло увеличение числа исследований почти на 500 %, а в 2022 году - на 20 % к предыдущему году. Из заголовков статей собрано облако слов (рис. 1).



скорость движения транспортного средства, время реакции. Последние 2 параметра зависят непосредственно от водителя.

При расчете тормозного пути автомобиля, а также для оценки сцепных свойств дорожных покрытий экспериментально определяют значение коэффициента сцепления при юзе колеса (коэффициент трения скольжения  $f_{ск}$ ).

Сцепление шин с твердым покрытием принято определять методом буксования автомобиля. Также  $f_{ск}$  можно определить по длине тормозного пути или по величине измеренного отрицательного ускорения. Коэффициент сцепления зависит от: скорости движения, коэффициента продольного скольжения колеса, температуры, рисунка протектора, давления в шине и др. Величина коэффициента сцепления в зависимости от типа и состояния дорожного покрытия находится в пределах от 0,05 до 1,05, поэтому величина тормозного пути на льду и сухом асфальте может отличаться более чем в 8 раз [11].

На втором этапе, до создания и обучения нейронной сети, выделены группы категорий эксплуатации, характеризующиеся различной величиной коэффициента сцепления. Учитывая сложность обучения модели, а также ограничения технического характера, в исследовании использовались 6 групп категорий характерных для городов с населением более 100 тыс. человек:

- тип дорожного покрытия - асфальт, грунт;
- состояние дорожного покрытия - сухой, мокрый, обледенелый.

На третьем этапе проводилось обучение нейронной сети методом с учителем. Несмотря на большую трудоемкость при предобработке данных этот метод дает более высокую точность при одинаковых размерах выборки [12]. Определение групп велось поэтапно, сначала нейронная сеть определяла тип дорожного покрытия, затем время года (зима или лето), затем влажность дорожного покрытия. Результатом работы системы становилось определение группы, например, асфальт-лето-сухой, что соответствовало коэффициенту сцепления 0,5 (рис. 3).



Рисунок 3 – Классификация изображений нейронной сетью

Для обучения и проверки точности работы нейронной сети использовались выборки изображений. По каждой из 6 групп размер обучающей выборки составлял 8000 изображений, контрольной - 1000. Точность определения коэффициента сцепления колес с дорогой на проверочной выборке составила не менее 0,85.

На четвертом этапе производилась верификация модели при помощи натурального эксперимента в соответствии с ГОСТ Р 51709–2001.

### Расчет

Подходы к расчету ДГ можно объединить в 3 группы [13]:

- по условию минимальной теоретической дистанции;

$$L = l_0 + l_p + l_1 = l_0 + V \times t + l_1 \quad (1)$$

где  $L$  – динамический габарит автомобиля в метрах;

$V$  – скорость автомобиля в км/ч;

$t$  – время реакции водителя в секундах;

$l_0$  – длина автомобиля в метрах;

$l_1$  – расстояние между остановившимися автомобилями в метрах;

$l_p$  – путь пройденный автомобилем за время реакции водителя в метрах.

- по условию обеспечения полной безопасности;

$$L = \frac{t \times V}{3,6} + S_T + l_0 + l_1 \quad (2)$$

где  $S_T$  – тормозной путь автомобиля в метрах;

$k_3$  – коэффициент торможения автомобиля;

$\phi_x$  – коэффициент сцепления колес автомобиля с дорожным покрытием.

- по условию движения за лидером.

$$L = l_0 + V \times t + \frac{V^2}{2} \times \left( \frac{1}{j_2} - \frac{1}{j_1} \right) + l_1 \quad (3)$$

где  $j_2$  и  $j_1$  – замедления соответственно лидирующего и ведомого автомобилей, м/с<sup>2</sup>.

Подходы под номером 1 и 3 не учитывают, коэффициент сцепления колес с дорогой, а он является весомым фактором, влияющим на ДГ автомобиля. В рамках данного исследования выбран подход №2.

Тормозной путь рассчитывался по ГОСТ Р 51709 – 2001:

$$S_T = \frac{k_3 \times V^2}{254 \times \varphi_x} \quad (4)$$

При разработке нейронной сети, кроме точности определения условий эксплуатации, также оценивалось время, затраченное на её обучение. На время и точность влияют следующие параметры: размер обучающей выборки и разрешение изображений.

В таблице 1 представлены результаты обучения нейронной сети при различных конфигурациях выборки и изображений.

По данным таблицы 1 видно, что низкое разрешение изображений не позволяет добиться точности выше 0,6, кроме того размер выборки не всегда приводит к увеличению точности. Для разрешения 320 пикселей на 144 пикселя не удалось провести эксперимент с выборкой выше 2000 изображений, т.к. продолжительность расчета составляла больше суток, при этом процессор работал при достаточно высокой температуре. Приемлемым уровнем точности за минимальное время обучения является 0,85 при размере выборки 2000 изображений. Однако, необходимо отметить, что использование обученной модели не требует больших ресурсов компьютера, следовательно решить проблему может применение суперкомпьютеров.

Таблица 1 – Точность определения групп и время обучения нейронной сети

Размер изображения, пиксель	Размер выборки - 2 000 изображений	Размер выборки - 4 000 изображений	Размер выборки - 8 000 изображений
40x18	0,50 (10 мин)	0,60 (20мин)	0,50 (30мин)
80x36	0,54 (30мин)	0,60 (1 часа)	0,60 (2 часа)
120x48	0,85 (1,5 часа)	0,86 (2 часа)	0,86 (4 часа)
160x72	0,86 (2 часа)	0,87 (5 часов)	0,88 (7 часов)
320x144	0,96 (22 часа)	-	-

### Результаты

Для проверки адекватности расчетов, полученных от нейронной сети, реальным данным проведен эксперимент по измерению тормозного пути автомобиля ВАЗ – 1117. Торможение осуществлялось со скорости – 40 км/ч и 60 км/ч, на сухом асфальтобетоне, на мокром асфальтобетоне, на мокрой грунтовке, на сухой грунтовке. В ходе эксперимента записывалось видео с регистратора автомобиля, которое использовалось для проверки нейронной сети. Сравнение результатов приведено в таблице 2.

Таблица 2 - Сравнение результатов, расчета динамического габарита автомобиля при помощи нейросети с экспериментом

Условия	$f_{ск}$	Опыт №1	Опыт №2	Опыт №3	Среднее	Нейросеть	Разность, %
Скорость автомобиля - 40 км/ч							
Сухой асфальт	0,7	28 м	30 м	31 м	30 м	29 м	3,3 %
Сухой грунт	0,5	30 м	33 м	34 м	32,3 м	32 м	1,03 %
Мокрый асфальт	0,4	36 м	37 м	35 м	36 м	35 м	2,7 %
Мокрый грунт	0,2	52 м	49 м	54 м	51,8 м	51 м	1,54 %
Скорость автомобиля - 60 км/ч							
Сухой асфальт	0,7	42 м	55 м	45 м	47,3 м	46 м	2,8 %
Сухой грунт	0,5	57 м	60 м	51 м	56 м	54 м	3,5 %
Мокрый асфальт	0,4	65 м	58 м	63 м	62 м	61 м	1,6 %
Мокрый грунт	0,2	100 м	95 м	98 м	97,6 м	96 м	1,6 %

Таким образом, при сравнении данных, полученных при помощи эксперимента и данных, полученных при помощи системы расчета динамического габарита автомобиля, разность полученных значений минимальна (3,5 %), можно сделать вывод, что система работает корректно.

### Обсуждение

Применение автоматизированной системы возможно в качестве системы помощи водителю для поддержания безопасной дистанции между автомобилями, рекомендуемой скорости и динамического габарита. Контроль параметров возможен через сравнение с фактическими данными полученными от бортовой системы (скорость) или дополнительного оборудования - лидара [14]. При этом, в отличие от беспилотных автомобилей, не потребуется проводить масштабное изменение дорожной инфраструктуры [15].

В качестве программного обеспечения для смартфона или навигатора (рис. 4), данная система будет более доступна в ценовом сегменте и производстве, чем системы, которые производятся на автомобилях премиум-класса. Смартфоны могут выполнять как функции навигационных устройств, так и средств коммуникации между транспортными средствами [16-17].



Рисунок 4 – Возможный интерфейс программы

Согласно статистике ГИБДД, по Пермскому краю, за 2022 год произошло – 1 843 ДТП, основным видом ДТП является столкновение – 726, среди основных причин столкновений является: несоблюдение дистанции между автомобилями – 10 %; выезд на встречную полосу – 8,4 %; нарушение скоростного режима – 8 %. Наряду с наездом на пешеходов, столкновение является наиболее распространенным видом ДТП многие десятилетия [18]. Предлагаемая автоматизированная система могла бы предотвратить часть ДТП связанных с несоблюдением дистанции и скоростного режима, т.е. потенциально снизить риск возникновения ДТП и всех связанных с ними негативных последствий на величину до 18 %.

Дальнейшее развитие автомобильного транспорта невозможно без применения искусственного интеллекта. В настоящее время автоматизированные и беспилотные системы развиваются бурными темпами, так прогнозируется кратный рост рынка систем ADAS в развитых странах к 2035 году [19]. В России разработки подобных систем имеют такие компании как: КамАЗ, Cognitive Technologies, Яндекс, СБЕР, Starline [20]. Таким образом, в нашей стране и в мире в целом беспилотные системы являются актуальными и приоритетными.

### Выводы

- 1) В России ежегодно происходит большое количество ДТП, уменьшить их число можно за счет беспилотных систем и систем помощи принятия решений.
- 2) Развитие электронных систем и нейронных сетей позволяет разрабатывать бюджетные решения, пригодные для использования на любых автомобилях.
- 3) Разработано программное обеспечение на основе нейронной сети, определяющее тормозной путь и динамический габарит транспортного средства, разность расчетных и экспериментальных данных составила не более 3,5 %.
- 4) Предлагаемое программное обеспечение может применяться на смартфонах и навигаторах, вероятный эффект - снижение числа ДТП и всех связанных с ними негативных последствий на величину до 18 %.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 1,3 миллиона погибших в год: Всемирный день памяти жертв ДТП [Электронный ресурс]. Информационное агентство Регнум: официальный сайт. URL: <https://regnum.ru/article/3750209>.
2. Шаихов Р. Ф. Снижение потерь рабочего времени при выполнении работ по обслуживанию и ремонту автомобилей // Мир транспорта и технологических машин. 2021. №4(75). С. 112-119.
3. Мальцев Д.В., Репецкий Д.С. О качестве выполнения работ технического обслуживания автомобилей // Грузовик. 2021. №10. С. 25-29.
4. Мальцев Д.В., Репецкий Д.С. Контроль производственного персонала при выполнении работ технического обслуживания автомобилей // Мир транспорта. 2020. Т. 18. №6(91). С. 238-247.
5. Шаихов Р.Ф. Контроль производственного персонала на автотранспортном предприятии // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2019. №3. С. 89-95. DOI 10.15593/24111678/2019.03.11.
6. План мероприятий («дорожная карта») Национальной технологической инициативы «Автонет» (приложение №2 к протоколу заседания президиума Совета при Президенте РФ по модернизации экономики и инновационному развитию России от 24.04.2018 №1) [Электронный ресурс]. КонсультантПлюс: официальный сайт. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_309650/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_309650/).
7. Пуховский С.А. Свёрточная нейронная сеть для управления транспортным средством // Россия молодая: Сборник материалов XIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева. 2021. С. 51519.1-51519.4.
8. Ромазанова Е.Р., Кацер Е.Ю. Перспективы развития беспилотного транспорта в логистической отрасли России // Логистика: форсайт-исследования, профессия, практика: материалы II Национальной научно-образовательной конференции. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный экономический университет. 2021. С. 421-425.
9. Андрианов Д.Ю., Долгополов К.А. Исследование применения беспилотного КАМАЗА «Одиссей» в арктических условиях // Инженерные кадры - будущее инновационной экономики России. 2020. №1. С. 10-13.
10. Клиновштейн Г.И. Организация дорожного движения: Учебник для вузов. М.: Транспорт, 1990. 240 с.
11. Балакина Е.В., Кочетков А.В. Коэффициент сцепления шины с дорожным покрытием: Монография. Москва: Инновационное машиностроение. 2017. 292 с.
12. Чупакова А.О., Гудин С.В., Хабибуллин Р.Ш. Разработка и обучение модели искусственной нейронной сети для создания систем поддержки принятия решений // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2020. №3. С. 61-73.
13. Машиев И.А. Математические модели описывающие движение транспортных потоков // Наука. Образование. Техника. 2015. №1(51). С. 6-17.
14. Бишутин С. Г., Кешенкова В.Г. Совершенствование системы активной безопасности автомобиля за счет применения средств технического зрения с лидарами // Актуальные проблемы науки и образования в условиях современных вызовов: Сборник материалов XIX Международной научно-практической конференции. Москва: Печатный цех. 2023. С. 264-269.
15. Мельникова Т.Е., Адуллина З.М., Степанова И.С. Перспективы развития автономных грузовых автотранспортных средств в России с учетом зарубежного опыта // Тенденции развития науки и образования. 2021. №73-2. С. 98-101.
16. Куликов Р.С., Чугунов А.А. Экспериментальное исследование относительного позиционирования с помощью смартфонов на базе Android для задачи предупреждения столкновений автомобилей // Радиотехника. 2019. Т. 83. №9(14). С. 48-54.
17. Маломыжев О.Л., Бектемиров А.С. Оценка возможности применения датчиков смартфона для измерения параметров движения автомобиля // Автомобиль для Сибири и крайнего Севера: конструкция, эксплуатация, экономика: 90-я Международная научно-техническая конференция Ассоциации автомобильных инженеров в ИРНТУ. Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет. 2015. С. 238-245.
18. Чепикова Т.П., Шаихов Р.Ф., Поварницын А.А. Анализ аварийности и повышение безопасности дорожного движения // Мир транспорта и технологических машин. 2013. №1(40). С. 67-71.
19. Лазуткина В.С., Покусаев О.Н., Куприяновский В.П., Синягов С.А. Экономические эффекты автономных (беспилотных) автомобилей // International Journal of Open Information Technologies. 2019. № 2. С. 66-80.
20. Бухарбаева Ю.И., Кожуховский А.О. Индустрия 5.0: экономический эффект от внедрения беспилотных автомобилей // Молодежная Неделя Науки Института промышленного менеджмента, экономики и торговли: Сборник трудов всероссийской студенческой научно-учебной конференции. Часть 2. Санкт-Петербург: ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. 2022. С. 15-18.

### **Шаихов Ринат Фидарисович**

Пермский государственный аграрно-технологический университет

Адрес: 614990, Россия, г. Пермь, ул. Петропавловская, 23

К.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Технический сервис и ремонт машин»

E-mail: shr84@list.ru

---

R.F. SHAIKHOV

## **CONTROL OF THE DYNAMIC DIMENSION OF THE VEHICLE USING NEURAL NETWORKS**

**Abstract.** The purpose of this study is to develop a system for monitoring and informing the driver about the safe distance to the vehicle moving in front. The dynamic size of the car depends on a large number of factors and can change during one trip, lack of experience or overwork of the driver can cause non-compliance with the distance and, as a result, a traffic accident. A computer program using neural networks has been developed that allows determining the dynamic dimension of a vehicle depending on operating conditions. The results of the program calculation differ from experimental studies by no more than 3.5 %.

**Keywords:** braking distance, dynamic dimension, traffic accident, neural networks, driver assistance system

## BIBLIOGRAPHY

1. 1,3 milliona pogibshikh v god: Vsemirnyy den` pamyati zhertv DTP [Elektronnyy resurs]. Informatsionnoe agentstvo Regnum: ofitsial`nyy sayt. URL: <https://regnum.ru/article/3750209>.
2. Shaikhov R. F. Snizhenie poter` rabochego vremeni pri vypolnenii rabot po obsluzhivaniyu i remontu avtomobiley // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2021. №4(75). S. 112-119.
3. Mal'tsev D.V., Repetskiy D.S. O kachestve vypolneniya rabot tekhnicheskogo obsluzhivaniya avtomobiley // Gruzovik. 2021. №10. S. 25-29.
4. Mal'tsev D.V., Repetskiy D.S. Kontrol` proizvodstvennogo personala pri vypolnenii rabot tekhnicheskogo obsluzhivaniya avtomobiley // Mir transporta. 2020. T. 18. №6(91). S. 238-247.
5. Shaikhov R.F. Kontrol` proizvodstvennogo personala na avtotransportnom predpriyatii // Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya. 2019. №3. S. 89-95. DOI 10.15593/24111678/2019.03.11.
6. Plan meropriyatiy («dorozhnaya karta») Natsional`noy tekhnologicheskoy initsiativy «Avtonet» (prilozhenie №2 k protokolu zasedaniya prezidiuma Soveta pri Prezidente RF po modernizatsii ekonomiki i innovatsionnomu razvitiyu Rossii ot 24.04.2018 №1) [Elektronnyy resurs]. Konsul'tantPlyus: ofitsial`nyy sayt. - URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_309650/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_309650/).
7. Pukhovskiy S.A. Svirotochnaya neyronnaya set` dlya upravleniya transportnym sredstvom // Rossiya molodaya: Sbornik materialov XIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Kemerovo: Kuzbasskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiiy universitet imeni T.F. Gorbacheva. 2021. S. 51519.1-51519.4.
8. Romazanova E.R., Katser E.Yu. Perspektivy razvitiya bespilotnogo transporta v logisticheskoy otrasli Rossii // Logistika: forsaitissledovaniya, professiya, praktika: materialy II Natsional`noy nauchno-obrazovatel`noy konferentsii. Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy ekonomicheskiiy universitet. 2021. S. 421-425.
9. Andrianov D.Yu., Dolgoplov K.A. Issledovanie primeneniya bespilotnogo KAMAZA «Odissey» v arkticheskikh usloviyakh // Inzhenernye kadry - budushchee innovatsionnoy ekonomiki Rossii. 2020. №1. S. 10-13.
10. Klinkovshteyn G.I. Organizatsiya dorozhnogo dvizheniya: Uchebnik dlya vuzov. M.: Transport, 1990. 240 s.
11. Balakina E.V., Kochetkov A.V. Koeffitsient stsepleniya shiny s dorozhnym pokrytiem: Monografiya. Moskva: Innovatsionnoe mashinostroenie. 2017. 292 s.
12. Chupakova A.O., Gudina S.V., Habibulin R.Sh. Razrabotka i obuchenie modeli iskusstvennoy neyron-noy seti dlya sozdaniya sistem podderzhki prinyatiya resheniy // Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel`naya tekhnika i informatika. 2020. №3. S. 61-73.
13. Mashiev I.A. Matematicheskie modeli opisyyayushchie dvizhenie transportnykh potokov // Nauka. Obrazovanie. Tekhnika. 2015. №1(51). S. 6-17.
14. Bishutin S. G., Keshenkova V.G. Sovershenstvovanie sistemy aktivnoy bezopasnosti avtomobilya za schet primeneniya sredstv tekhnicheskogo zreniya s lidarami // Aktual`nye problemy nauki i obrazovaniya v usloviyakh sovremennykh vyzovov: Sbornik materialov XIX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Moskva: Pechatnyy tsekh. 2023. S. 264-269.
15. Mel'nikova T.E., Adullina Z.M., Stepanova I.S. Perspektivy razvitiya avtonomnykh gruzovykh avtotransportnykh sredstv v Rossii s uchedom zarubezhnogo opyta // Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya. 2021. №73-2. S. 98-101.
16. Kulikov R.S., Chugunov A.A. Eksperimental`noe issledovanie odnositel`nogo pozitsionirovaniya s pomoshch`yu smartfonov na baze Android dlya zadachi preduprezhdeniya stolknoveniy avtomobiley // Radiotekhnika. 2019. T. 83. №9(14). S. 48-54.
17. Malomyzhev O.L., Bektemirov A.S. Otsenka vozmozhnosti primeneniya datchikov smartfona dlya izmereniya parametrov dvizheniya avtomobilya // Avtomobil` dlya Sibiri i kraynego Severa: konstruktsiya, ekspluatatsiya, ekonomika: 90-ya Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya Assotsiatsii avtomobil`nykh inzhenerov v IRNITU. Irkutsk: Irkutskiy natsional`nyy issledovatel`skiy tekhnicheskiiy universitet. 2015. S. 238-245.
18. Chepikova T.P., Shaikhov R.F., Povarnitsin A.A. Analiz avariynosti i povyshenie bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2013. №1(40). S. 67-71.
19. Lazutkina V.S., Pokusaev O.N., Kupriyanovskiy V.P., Sinyagov S.A. Ekonomicheskie efekty avtonomnykh (bespilotnykh) avtomobiley // International Journal of Open Information Technologies. 2019. № 2. S. 66-80.
20. Bukharbaeva Yu.I., Kozhukhovskiy A.O. Industriya 5.0: ekonomicheskiiy effekt ot vnedreniya bespilotnykh avtomobiley // Molodezhnaya Nedelya Nauki Instituta promyshlennogo menedzhmenta, ekonomiki i trgovli: Sbornik trudov vserossiyskoy studencheskoy nauchno-uchebnoy konferentsii. Chast` 2. Sankt-Peterburg: FGAOU VO Sankt-Peterburgskiy politekhnicheskiiy universitet Petra Velikogo. 2022. S. 15-18.

**Shaikhov Rinat Fidarisovich**

Perm State Agricultural and Technological University

Address: 614990, Russia, Perm, Petropavlovsk str., 23

Candidate of technical sciences

E-mail: shr84@list.ru

Научная статья

УДК 656.113

doi:10.33979/2073-7432-2024-1-1(84)-63-72

Е.В. АГЕЕВ, Е.С. ВИНОГРАДОВ

## МЕТОДОЛОГИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОШИБОК КАНДИДАТОМ В ВОДИТЕЛИ ПРИ АНАЛИЗЕ ДОРОЖНЫХ СИТУАЦИЙ

***Аннотация.** В данной статье проведен анализ дорожно-транспортных происшествий среди участников дорожного движения, позволяющий установить механизм возникновения аварийных ситуаций. Представлена транспортная модель регулирования движения транспортного потока, определяющая условия, при котором транспортное средство находится в оптимальных условиях на дороге, разработана модель деятельности кандидата в водители при взаимодействии в транспортном потоке. Представленная функциональная модель, позволяет установить уровни факторов, которые оказывают влияние на водителя в процессе управления транспортным средством и условия, обеспечивающие безопасные режимы работы. Определены наиболее распространённые ошибки, допускаемые кандидатами в водители при взаимодействии в транспортном потоке на этапе практической подготовки.*

***Ключевые слова:** дорожно-транспортное происшествие, безопасность дорожного движения, водитель, кандидат в водители, транспортная модель, профессиональная подготовка водительских кадров.*

### **Введение**

Проблема высокой аварийности и адаптивного поведения участников, принимающих участие в транспортном процессе, занимают лидирующие позиции в области организации и безопасности движения [1-3]. Проведенный анализ дорожно-транспортных происшествий позволил установить механизм возникновения аварий [4], которые имеет отношение к источникам, оказывающим влияние на каждое отдельное ДТП.

Исследования [5-8] в данной области основывались на гипотезе, что отсутствие ДТП определяет безопасность дорожного движения. Правомерность данной позиции рассматривалась по результатам конкретных видов ДТП и определялись случайным событием вследствие неподготовленности участников к условиям прогнозирования развития событий, следовательно, каждое ДТП не может быть выделено и систематизировано, как закономерное событие. Системный подход при анализе поведения участников дорожного движения, позволяет рассматривать условия и причины конкретного происшествия [8].

Представленные в работах [5, 8-10] компоненты регулирования движения транспортного потока устанавливают требования, при которых автомобиль находится в оптимальных условиях на дороге. Движение в продольном направлении, которое осуществляется с соблюдением дистанции и боковых интервалов и характеризуется движением за лидером. Движение в поперечном направлении, которое осуществляется с выбором оптимального расстояния до края проезжей части, линий разметки, позволяя предотвратить столкновения с препятствиями и соседними транспортными средствами. Управление автомобилем в транспортном потоке осуществляется с установленными скоростными режимами, позволяя обеспечить равномерность движения, и способствуя безопасности и эффективности движения. Взаимодействие водителя с окружающей средой включает оптимизацию предоставляемой и воспринимаемой водителем информации, а также способствует принимать правильные решения и обеспечивает безопасное управление транспортным средством [10].

Согласно статистики около 90 % дорожных аварий связаны с человеческим фактором [4], такими как несоблюдение скоростного режима, отвлечение водителя, нарушение правил дорожного движения и другие виды неправильного поведения [5]. При анализе надежности работы системы ВАДС выделим основное звено «водитель», деятельность которого определяется вероятностью безошибочного выполнения операторской деятельности и связана с восприятием дорожных ситуаций в определенный период времени для  $n$  участка дороги

в определенных условиях. Рассмотренный набор условий регулирования создает основу для транспортной модели, которая позволяет достичь оптимального положения автомобиля в транспортном потоке. Данная модель может быть использована для более эффективного и безопасного движения на дорогах.

Цель данной работы выявить закономерности, связанные с человеческим фактором, а также проанализировать модель анализа дорожной ситуаций кандидатом в водители, которое оказывает наибольшее влияние на условия обеспечения безопасности дорожного движения.

**Материал и методы**

Законы автомобильного движения играют важную роль в области безопасности дорожного движения, организации и регулировании транспортного потока и являются набором правил и предписаний, которые регулируют поведение водителей и других участников. При этом одной из основных причин сложности законов автомобильного движения является проведение анализа взаимодействия автомобилей друг с другом на дороге. Каждое транспортное средство обладает своими индивидуальными характеристиками, такими как скорость, маневренность, тормозной путь и т.д. Поэтому необходимо учесть по возможности все сценарии развития дорожной ситуации, чтобы обеспечить безопасное взаимодействие среди всех участников движения [7-9].

Анализ индивидуального и общего поведения водителей заключается в разной целенаправленности. Анализ общего поведения позволяет проанализировать тенденции выполняемых действий определенных участников дорожного движения поведения пешеходов, что позволяет помочь выявить основные факторы [11], которые оказывают влияние на безопасность дорожного движения среди данной категории, поведения водителей транспортных средств позволяя выявить особенности их движения, превышение скорости, несоблюдение правил дорожного движения и т.д.. Проведенный анализ позволяет разработать комплекс мероприятий по повышению безопасности дорожного движения [12].

Индивидуальный анализ поведения курсанта позволяет выявить проблемы, которые нуждаются в улучшении или коррекции. Таким образом, анализ общего поведения курсанта является важным предварительным этапом для проведения более детального и целенаправленного анализа индивидуального поведения, позволяя выявить общие тенденции и проблемы, а также способствует определить критерии для более точной оценки индивидуального поведения, связанного с восприятием дорожной обстановки.

В настоящее время лидирующие позиции занимает фактор учета человеческой деятельности, связанного с восприятием дорожной ситуации, при этом безопасность и эффективность автомобильной отрасли непосредственно связаны с качеством выполняемых действий водителями транспортных средств [5].

Модель деятельности кандидатом в водители при взаимодействии в транспортном потоке представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Пятифакторная модель деятельности кандидата в водители при взаимодействии в транспортном потоке: К – курсант, В – водитель, А – автомобиль, Д – дорога, СД – среда движения

Функциональная модель позволяет установить уровни факторов (маневрирование, среда движения, условия движения, взаимодействие), которые оказывают влияние на водителя в процессе управления транспортным средством, обеспечивают выбор потенциально небезопасных действиях и условиях работы транспортной системы, которые необходимо выявить с целью обеспечения безопасных режимов работы. Процесс, объединяющий концеп-

цию в системный подход с целью исследования человеческого фактора [13] (водителя) при нарушениях и авариях, характеризуется исследованием человеческого фактора, который характеризуется анализом полученной информации относительно данных о водителях, участвующих в механизме возникновения ДТП, средств и условий возникновения, характера взаимодействия. В сложных дорожных ситуации, происходят многочисленные взаимодействия между различными элементами системы ВАДС, и возникает риск потери критически важной информации в процессе расследования ДТП.

Разработанная модель деятельности водителя способствует организовать сбор данных на месте происшествия и избежать потери важной информации. Модель деятельности водителя представляет собой систему, предназначенную для организации исследования ДТП, осуществлять сбор наиболее важной информации, которая связана с взаимодействием различных элементов в системе, позволяя установить взаимоотношения между элементами системы и выявить факторы, влияющие на деятельность водителя.

Установить хронологию событий возникновения ДТП (выявить цепь событий, которые являются отклонениями от безопасной работы на дороге). Аварийные ситуации обычно возникают из-за комбинации нескольких факторов. Это могут быть небезопасные действия водителя, как ошибки или нарушения правил дорожного движения, а также неблагоприятные условия или обстоятельства, которые создают опасность на дороге. Установление хронологии событий – это важный этап расследования ДТП, который позволяет выявить все факторы, оказывающие влияние на механизм аварии. Анализируя последовательность событий, можно определить небезопасные действия водителя и условия, которые их провоцируют. Это помогает разработать меры по предотвращению подобных ситуаций и повышению безопасности на дорогах.

Определение небезопасных действий и условий, которые устанавливают факторы, способствующие возникновению аварийной ситуации:

- небезопасные выполняемые действия (принятие неправильного решения или неверное выполнение решения);
- непосредственные небезопасные действия (ошибочные действия водителя транспортного средства);
- небезопасные действия (эксплуатация технически неисправного транспортного средства).

Небезопасные действия в системах управления ведут к превышению допустимых пределов состояния контролируемого процесса. Такие действия могут характеризоваться выходом за границы безопасности системы ВАДС. В некоторых случаях выделяется понятие «небезопасные действия», которое представляет собой действия, ведущие к нарушению или аварии [14-17].

Определения типов небезопасных действий в рамках исследования или анализа ошибок в человеческой деятельности, при управления транспортным средством. Для определения неправильных действий используется алгоритм, который учитывает различные аспекты когнитивных процессов, отвечающих за принятие решений: уровень принятия решения, который включает процессы принятия решений, оценку ситуации и выбор действий на основе доступной информации, неправильное восприятие информации, т.е. ошибки в интерпретации или понимании предоставленной информации, которые могут привести к неверным действиям, неверная оценка условий движения, т.е. ошибки в оценке текущей обстановки или прогнозировании развития ситуации на дороге, неверное принятие решения характеризуется выбором неподходящего действия или маневра, основанный на неправильной оценке ситуации, уровень исполнения решения характеризуется ошибками при выполнении выбранного решения, включая ошибки в управлении транспортным средством или маневрировании, неверное выполнение маневров характеризуется ошибками в физическом выполнении действий, таких как повороты, торможение или ускорение, неверное взаимодействие в процессе выполнения задач подсистемы «Водитель-Водитель» характеризуется ошибками взаимодействии между водителями.

Выявление источников небезопасных условий согласно представленной модели взаимодействия участников дорожного движения установления точек снижения безопасности (анализ основных типов небезопасных действий и источников, причин неверных действий субъекта деятельности).

Корректировка причин, вызывающих небезопасные действия водителя, осуществляется путем анализа точек снижения безопасности, устанавливаются все возможные факторы, которые могут повлиять на безопасность действий водителя.

Одним из эффективных методов, которое позволяет оценить вероятность успешного или ошибочного выполнения операций, связанных с управлением автомобиля, и представить их в виде ветвей дерева [18-20]. При использовании данного метода, каждая операция, которую должен выполнить кандидат в водители, представляется в виде отдельной ветви дерева вероятностей. На каждой ветви указывается условная вероятность успешного или ошибочного выполнения данной операции. Таким образом, дерево вероятности позволяет визуализировать все возможные исходы каждой операции. Для определения полной вероятности успешного выполнения определенной операции, необходимо просуммировать соответствующие вероятности в конечной точке дерева отказов. Таким образом, можно получить общую вероятность успешного выполнения всех операций, связанных с управлением автомобиля.



Рисунок 2 – Дерево отказов деятельности водителя при управлении транспортным средством в границах перекрестка

Для оценки работоспособности кандидата в водители необходимо учитывать следующие факторы:

- профессиональная подготовка в учебном центре;
- знание правил дорожного движения;
- техническое состояние транспортного средства;
- уровень самостоятельности при выполнении маневров при взаимодействии в транспортном потоке;
- взаимодействие с мастером производственного обучения;
- психофизиологическая нагрузка.

Оценка частоты ошибочных действий кандидатов в водители проводят после рассмотрения всех факторов, так как они оказывают непосредственное влияние на работоспо-

способность.

**Теория / Расчет**

Согласно проведенным исследованиям [6, 8-12] определение критерия быстродействия является время реакции, т.е. время с момента определения опасности до принятия решения (поступающий внешний сигнал момент окончания воздействия). Данное время прямо пропорционально количеству анализируемой информации кандидатом в водители и определяется выражением (1)

$$T = a + bH = a + \left(\frac{H}{V}\right), \quad (1)$$

где  $a$  – время запоздания поступающей информации (0,2-0,6 с);

$b$  – время преобразования поступающей информации (0,1-0,3 с);

$H$  – объем поступающей информации;

$V$  – средняя скорость преобразования поступающей информации (3-6 ед/с).

Пропускная способность определяется временем анализа поступающей информации, и зависит от психофизиологических особенностей водителя, обзора видимости, условий движения, эргономических особенностей системы. При этом надежность деятельности кандидата в водители характеризуется способностью выполнять в полном объеме работу, связанную с управлением транспортным средством в режиме реального времени и характеризуется следующими функциями:

– вероятность  $P_i$  безошибочного выполнения операций  $n$  типа и частотой допущенных ошибок  $\tau$ , по отношению к безошибочному выполнению (основана на анализе статистических данных) (2)

$$P_i = \frac{(N_i - C_{оми})}{N_i T_i}, \quad (2)$$

где  $N_i$  – выполняемые операции, связанные с управлением автомобилем в транспортном потоке;

$C_{оми}$  – общее количество допущенных ошибок;

$T_i$  – время выполнения операции;

– вероятность безошибочного выполнения комплекса операций (взаимодействие с органами управления автомобиля, восприятие дорожной информации, взаимодействие в транспортном потоке с другими участниками) определяется экспоненциальном распределении времени (3)

$$P_{общ} = \exp(-\sum_{i=1}^r \tau_i T_i K_i) = \exp(-\sum_{i=1}^r (1 - P_i) K_i), \quad (3)$$

где  $K_i$  – общее число комплекса выполняемых операций;

$r$  – выполняемые операции.

Вероятность готовности кандидата в водители к взаимодействию в транспортном потоке в любой момент времени (4).

$$K_k = 1 - \left(\frac{t_0}{T}\right), \quad (4)$$

где  $t_0$  – время запоздания принятия сигнала кандидата в водители;

$T$  – общее время выполнения операции.

Деятельность, связанная с компенсацией запоздания принятия сигнала и выражается уравнением (5) и вероятностью своевременного исправления ошибки в течении заданного времени на  $n$  участке дороги. Данный показатель оценивает уровень самоконтроля действий и выражается уравнением (6), или на основе статистических данных (7).

$$P_k = P_c P_o P_u, \quad (5)$$

где  $P_c$  – вероятность появления аварийной ситуации;

$P_o$  – вероятность своевременного выявления опасности;

$P_u$  – вероятность исправления ошибочных действий без вмешательства мастера производственного обучения.

$$P_c = P\{t \leq t'' - \} = \int_0^{t''} f(t) dt, \quad (6)$$

где  $f(t)$  – функция времени для выполнения задачи;

$t''$  – максимальное время выполнения задачи.

$$P_c = \frac{(N - N_n)}{N}, \quad (7)$$

где  $N$  – общий объем воспринимаемой информации, который связан с выполнением маневров

$N_n$  – несвоевременное выполнение маневров кандидатом в водители.

Точность выполняемых маневров кандидатом в водители зависит от значения воспринимаемого сигнала (условия видимости), сложности поставленной многоплановой задачи, интенсивности транспортного потока, психофизиологических способностей, опыта, квалификации, усталости и др.

### Результаты

Для определения вероятности безошибочной работы курсанта с учетом действия одного фактора (информационная перегрузка) характеризуется промежутком времени в течение которого восприятие дорожной информации превосходит возможности оператора ТС. Возможности курсанта определяются перегрузкой: «переполнение оперативной памяти», т.е. время, отводимое на выполнение маневра может быть достаточным, но при этом часть информации теряется из-за ограниченных возможностей оперативной памяти в следствии не достаточного опыта, «дефицит времени» количество информации не превышает объема памяти, но при этом время принятия решения недостаточно в результате происходит потеря информации, т.к. курсант не успевает принять решение в заданное время.

При анализе ошибочных действий курсанта является правильная характеристика выполняемых маневров. Курсант используя информационную модель управления строит концептуальную модель на основании которой принимает решения при взаимодействии в транспортном потоке.

В результате выполненного исследования наблюдения за поведением курсантов ( $n=27$ ) на этапе профессиональной подготовки в учебном центре «Вектор» г. Курска категории «В», позволило выявить типичные ошибки таблица 1, которые возникают при сдаче экзамена.

Таблица 1 – Типичные ошибки, возникающие при сдаче экзамена в ГИБДД

№ п.п.	Навыки управления транспортным средством, подлежащих проверке	Ошибки (%) и нарушения, допущенные в процессе экзамена
1	2	3
1	Постановка транспортного средства на место стоянки при движении задним ходом с поворотом на 90 градусов	80 % (12.1-12.3 приложения №8 к Административному регламенту)
2	Постановка транспортного средства на место стоянки параллельно тротуару при движении задним ходом	90 % (17.1-17.4 приложения №8 к Административному регламенту)
3	Разворот транспортного средства в ограниченном пространстве с использованием движения задним ходом	75 % (24.1-24.3 приложения №8 к Административному регламенту)
4	Постановка транспортного средства параллельно тротуару (краю проезжей части) при движении по направлению вперед	70 % (20.1-20.3 приложения №8 к Административному регламенту)
5	Остановка и начало движения	65 % (п.12.1-12.8, 8.1-8.12 ПДД)
6	Проезд регулируемого перекрестка (при его наличии)	55 % (п. 6.2 - 6.4, 6.7, 6.9, 6.10, 3.2, 8.1, 8.3 - 8.5, 8.8, 8.9, 8.12, 9.6, 11.7, 13.4 - 13.6, 13.8, 13.9, 13.11, 13.12, 15.1 ПДД)
7	Проезд нерегулируемого перекрестка равнозначных дорог (при его наличии)	45 % (п. 3.2, 8.1, 8.3 - 8.5, 8.8, 8.9, 8.12, 9.6, 11.7, 13.4 - 13.6, 13.8, 13.9, 13.11, 13.12, 15.1, 18.1, 18.3 ПДД)
8	Проезд нерегулируемого перекрестка неравнозначных дорог	68% (п. 3.2, 8.1, 8.3 - 8.5, 8.8, 8.9, 8.12, 9.6, 11.7, 13.4 - 13.6, 13.8, 13.9, 13.11, 13.12, 15.1, 18.1, 18.3 ПДД)
9	Не включил указатели поворотов при выполнении маневров	80 % (8.1, 8.2 ПДД)
10	Проезд железнодорожного переезда (при наличии)	2 % (п. 15.1 - 15.4, 12.4 ПДД)
11	Нарушил правила расположения транспортного средства на проезжей части	30 % (п. 9.3, 9.4, 9.7 - 9.10, 2.7, 9.10 - 9.11, 3.6, 3.16 ПДД, допустил наезд на бордюр)
12	Обгон или опережение	53 % (п.11.1 - 11.4, приложения №1 и №2 ПДД)
13	Движение с максимальной разрешенной скоростью	60 % (п. 10.1 - 10.5 ПДД)
14	Проезд пешеходных переходов и мест остановок маршрутных транспортных средств	78 % (п. 8.3, 13.1, 13.8, 14.1, 14.3, 14.5, 14.6 ПДД)

Окончание таблицы 1

1	2	3
15	Торможение и остановка при движении на различных скоростях	73 % (п. 3.1, 13.6, 13.9, 13.11, 17.1, 18.1, 24.11 ПДД)

При выполнении маневров выделим уровни операторской деятельности:

– первый уровень характеризуется планированием, контролем, исполнением действий. Ошибки, возникающие в результате неполноты ориентированных действий, неправильного выделения алгоритмов применения, на основе которых формируется образ, служащий для контроля выполнения действий;

– второй уровень характеризуется элементарными операциями (включение света фар, пристегнут ремень безопасности, выбор соответствующей передачи), а также более сложных процессов, выполняемых бессознательно, автоматически (работа с органами управления транспортного средства). Ошибки, возникающие в результате выполняемых действий характеризуются ослаблением контроля за процессом автоматизации действий, что приводит к изменению элементов ориентировочных действий. На количество ошибок оказывают условия в которых находится курсант (стрессовая ситуация);

– третий уровень устанавливает соотношение между параметрами раздражителя и величиной восприятия информации. Характеризует величину чувствительности анализаторов и оптимальную величину различимость сигнала. Ошибки, возникающие при восприятии информации определяются не точностью анализа, а параметры которые близки к пороговым.

#### **Обсуждение**

Ошибочные действия водителя определяются как невыполнение поставленной задачи, которые приводят к возникновению ДТП независимо от опыта, поэтому прогнозирование надежности системы без учета надежности работы оператора не может дать истинную картину событий. Ошибочные действия по прогнозированию дорожно-транспортной ситуации возникают вследствие бездействия или не своевременных действий водителя. Выделим основные ошибки, допускаемые кандидатами в водители при взаимодействии в транспортном потоке на этапе практической подготовки:

- ошибки прогнозирования;
- ошибочная деятельность при выполнении маневров;
- техническая неисправность ТС;
- ошибки, которые возникли в процессе выполнения маневров;
- ошибки контроля;
- ошибки обращения к восприятию дорожной ситуации;
- ошибки организации рабочего места водителя;
- ошибки взаимодействия с органами управления.

Свойство водителя ошибаться является функцией его психофизиологического состояния, при этом интенсивность ошибок определяется окружающей средой.

Соотношение между качеством выполняемых действий кандидатом в водители и действующими нагрузками (движение в свободном транспортном потоке, частично связанном потоке, связанном потоке, плотном потоке) [19]. При низкой нагрузке большинство кандидатов в водители выполняют операторские функции менее эффективно (монотонное управление транспортным средством) и значительно отличается от оптимального, при умеренных нагрузках установлены оптимальные условия восприятия и анализа дорожной ситуации, при дальнейшем увеличении нагрузки на первоначальном этапе подготовки качество работы ухудшается (рис. 3), вследствие недостаточной пропускной способности анализаторов, оперативной памяти, приводя к возникновению ошибок (ДТП).

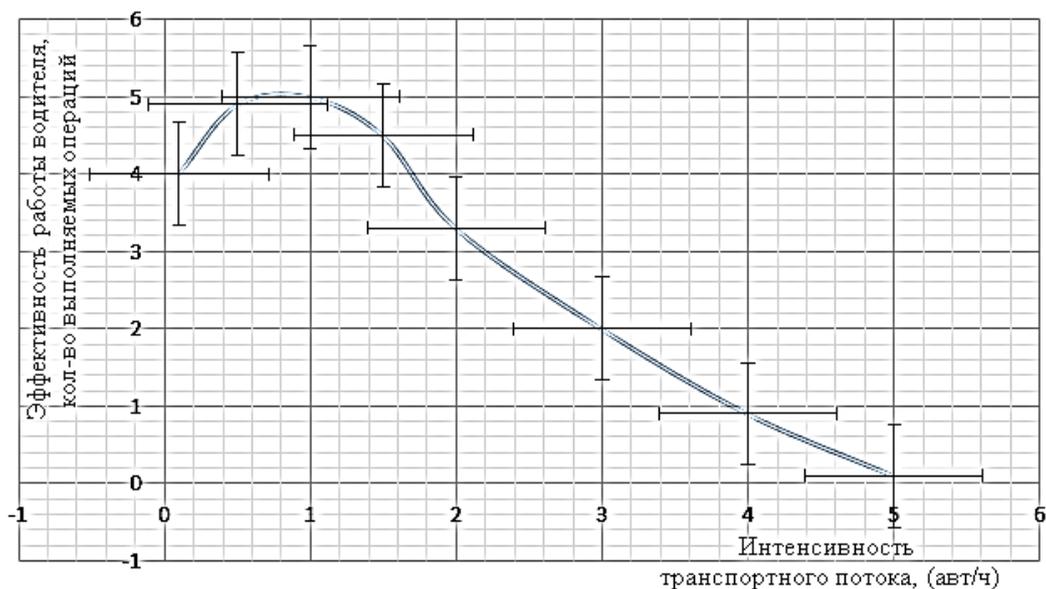


Рисунок 3 – Эффективность работы водителя в зависимости от интенсивности транспортного потока

Критерий ошибочных действий связан с затруднениями влияния различных факторов, оказывающих влияние на надежность водителя, которые изменяются во времени. При исследовании надежности выбирают только факторы, оказывающие влияние на состояние системы А-К. Данный фактор является не случайным показателем для каждого состояния системы ВАДС, при такой постановке критерий  $X(t)$  представляет собой дискретную величину, косвенно зависящую от времени при выполнении операторской деятельности.

### Выводы

Модель восприятия и анализа дорожных ситуаций кандидатом в водители представляет собой важный инструмент для обеспечения безопасности на дорогах. Она позволяет оценить навыки и знания кандидата в водители, которые способствуют сформировать стереотип «безопасного поведения» при взаимодействии в транспортном потоке, позволяет снизить общий уровень аварийности.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петров А.И., Евтюков С.А., Колесов В.И., Петрова Д.А. Идентификация долгосрочного тренда изменения организованности системы обеспечения безопасности дорожного движения // Транспортные и транспортно-технологические системы. Тюмень. 2019. С. 233-238.
2. Свистунова А.Ю. Анализ факторов, влияющих на безопасность дорожного движения // Научно-практические аспекты инновационного развития транспортных систем и инженерных сооружений Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева. 2020. С. 311-315.
3. Корчагин В.А., Ляпин С.А., Клявин В.Э., Ситников В.В. Повышение безопасности движения автомобилей на основе анализа аварийности и моделирования ДТП // Фундаментальные исследования. 2015. №6-2. С. 251-256.
4. Виноградов Е.С. Совершенствование подготовки водителей автомобильного транспорта с целью повышения безопасности дорожного движения: специальность 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта»: дис. ... канд. техн. наук, 2022. – 168 с.
5. Абразумов О.В., Сошников М.В., Трофимец А.А. Факторный анализ дорожно-транспортных происшествий на федеральных трассах России // Актуальные научные исследования в современном мире. 2020. №12-6(68). С. 27-32.
6. Мишуринов В.М., Романов А.Н. Надёжность водителя и безопасность движения. М.: Транспорт, 1990. 167 с.
7. Haque M. Ohidul, Tariq H. Haque Evaluating the effects of the road safety system approach in Brunei // Transportation Research Part A: Policy and Practice. 2018. Vol. 118. P. 594-607.
8. Jamous Wael, Chandra Balijepalli. Assessing travel time reliability implications due to roadworks on private vehicles and public transport services in urban road networks // Journal of Traffic and Transportation Engineering. 2018. Vol. 5. P. 296-308.
9. Боровской А.Е., Шевцова А.Г. Реальный поток насыщения в зависимости от класса легкового авто-

мобиля // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: Сб. материалов VII международной науч. технической конф. Пенза: ПГУАС. 2012. С. 244-250.

10. Макарова И.В., Шубенкова К.А. Оценка рисков влияния изменений конфигурации улично-дорожной сети на повышение безопасности участников дорожного движения // Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация. 2017. № (76). С. 52-61.

11. Виноградов Е.С., Агеев Е.В. Анализ деятельности водителя по управлению системой «Водитель-Автомобиль-Дорога-Среда движения» / Под общей редакцией А.Н. Новикова // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы VI Международной научно-практической конференции. Орёл: Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева. 2020. С. 198-204.

12. Агеев Е.В., Виноградов Е.С. Разработка мероприятий по повышению безопасности дорожного движения в городе Курске // Мир транспорта и технологических машин. 2019. №3(66). С. 104-109.

13. Korchagin V.A., Englezi I.P. Analysis of the influence of the human factor on the parameters of the emergency // Actual problems of economics and management: theoretical and applied aspects. 2018. P. 409-414.

14. Бариеников Е.М. Влияние психофизиологического состояния водителя и его действие при развитии критической ситуации дорожного движения // Экстремальная деятельность человека. 2021. №1(59). С. 40-44.

15. Пупков К.А. Исследование и оценка степени влияния водителя на качество управления в системе водитель-автомобиль-дорога // Актуальные исследования. 2020. №10-1(13). С. 51-58.

16. Васильева В.В., Левшина К.В. Применение метода айтрекинга для оценки и контроля психофизического состояния водителей // Мир транспорта и технологических машин. 2021. №4(75). С. 58-66.

17. Новиков А.Н., Сазонова З.С., Букалова Г.В. Готовность к профессиональной ответственности как образовательная цель // Информационные технологии и инновации на транспорте. 2019. С. 290-295.

18. Кузнецов В.А. Проблема надежности при подготовке водителей // Вестник Удмуртского университета. 2017. Т. 27(2). С. 233-240.

19. Романов А.Н., Пегин П.А. Надёжность водителя. Хабаровск: ТОГУ, 2006. 376 с.

20. Никонов О.Я., Волосников С.А., Бобровский А.И., Кузнецов Г.А., Зорькин М.Е. Разработка вероятностной математической модели динамики ошибок для оценки надежности оператора // Вестник ХНАДУ. 2007. №39.

**Агеев Евгений Викторович**

Юго-Западный государственный университет

Адрес: 305040, Россия, г. Курск, 50 лет Октября, 94

Д.т.н., профессор, профессор кафедры технологии материалов и транспорта

E-mail: ageev\_ev@mail.ru

**Виноградов Евгений Сергеевич**

Юго-Западный государственный университет

Адрес: 305040, Россия, г. Курск, 50 лет Октября, 94

К.т.н., соискатель

E-mail: ganek09@rambler.ru

---

E.V. AGEEV, E.S. VINOGRADOV

**METHODOLOGY FOR PREDICTING ERRORS BY A CANDIDATE DRIVER IN THE ANALYSIS OF ROAD SITUATIONS**

***Abstract.** This article analyzes road traffic accidents among road users, which allowed us to establish the mechanism of the occurrence of an accident situation. A transport model of traffic flow regulation is presented, which allows determining the conditions under which the vehicle is in optimal conditions on the road, a model of the activity of a candidate driver during interaction in the traffic flow is developed. The presented functional model makes it possible to establish the levels of factors that influence the driver in the process of driving a vehicle and the conditions that ensure safe operating modes. The most common mistakes made by candidates for drivers when interacting in the traffic flow at the stage of practical training are determined.*

***Keywords:** traffic accident, road safety, driver, candidate for drivers, transport model, professional training of drivers*

**BIBLIOGRAPHY**

1. Petrov A.I., Evtyukov S.A., Kolesov V.I., Petrova D.A. Identifikatsiya dolgosrochnogo trenda izmeneniya organizovannosti sistemy obespecheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya // Transportnye i transportno-

tehnologicheskie sistemy. Tyumen'. 2019. S. 233-238.

2. Svistunova A.Yu. Analiz faktorov, vliyayushchikh na bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya // Nauchno-prakticheskie aspekty innovatsionnogo razvitiya transportnykh sistem i inzhenernykh sooruzheniy Ryazan': Ryazanskiy gosudarstvennyy agrotekhnologicheskiy universitet im. P.A. Kostycheva. 2020. S. 311-315.

3. Korchagin V.A., Lyapin S.A., Klyavin V.E., Sitnikov V.V. Povyshenie bezopasnosti dvizheniya avtomobilya na osnove analiza avariynosti i modelirovaniya DTP // Fundamental'nye issledovaniya. 2015. №6-2. S. 251-256.

4. Vinogradov E.S. Sovershenstvovanie podgotovki voditeley avtomobil'nogo transporta s tsel'yu povysheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya: spetsial'nost' 05.22.10 «Ekspluatatsiya avtomobil'nogo transporta»: dis. ... kand. tekhn. nauk, 2022. - 168 s.

5. Abrazumov O.V., Soshnikov M.V., Trofimets A.A. Faktornyy analiz dorozhno-transportnykh proisshestviy na federal'nykh trassakh Rossii // Aktual'nye nauchnye issledovaniya v sovremennom mire. 2020. №12-6(68). S. 27-32.

6. Mishurin V.M., Romanov A.N. Nadiozhnost' voditelya i bezopasnost' dvizheniya. M.: Transport, 1990. 167 s.

7. Haque M. Ohidul, Tariq H. Haque Evaluating the effects of the road safety system approach in Brunei // Transportation Research Part A: Policy and Practice. 2018. Vol. 118. R. 594-607.

8. Jamous Wael, Chandra Balijepalli. Assessing travel time reliability implications due to roadworks on private vehicles and public transport services in urban road networks // Journal of Traffic and Transportation Engineering. 2018. Vol. 5. P. 296-308.

9. Borovskoy A.E., Shevtsova A.G. Real'nyy potok nasyshcheniya v zavisimosti ot klassa legkovogo avtomobilya // Problemy kachestva i ekspluatatsii avttransportnykh sredstv: Sb. materialov VII mezhdunarodnoy nauch. tekhnicheskoy konf. Penza: PGUAS. 2012. S. 244-250.

10. Makarova I.V., Shubenkova K.A. Otsenka riskov vliyaniya izmeneniy konfiguratsii ulichno-dorozhnoy seti na povyshenie bezopasnosti uchastnikov dorozhnogo dvizheniya // Sotsial'no-ekonomicheskie i tekhnicheskie sistemy: issledovanie, proektirovanie, optimizatsiya. 2017. № (76). S. 52-61.

11. Vinogradov E.S., Ageev E.V. Analiz deyatel'nosti voditelya po upravleniyu sistemoy «Voditel'-Avtomobil'-Doroga-Sreda dvizheniya» / Pod obshchey redaktsiey A.N. Novikova // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: Materialy VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Oriol: Orlovskiy gosudarstvennyy universitet imeni I.S. Turgeneva. 2020. S. 198-204.

12. Ageev E.V., Vinogradov E.S. Razrabotka meropriyatiy po povysheniyu bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v gorode Kurske // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2019. №3(66). S. 104-109.

13. Korchagin V.A., Englezi I.P. Analysis of the influence of the human factor on the parameters of the emergency // Actual problems of economics and management: theoretical and applied aspects. 2018. P. 409-414.

14. Barienikov E.M. Vliyanie psikhofiziologicheskogo sostoyaniya voditelya i ego deystvie pri razvitiy kriticheskoy situatsii dorozhnogo dvizheniya // Ekstremal'naya deyatel'nost' cheloveka. 2021. №1(59). S. 40-44.

15. Pupkov K.A. Issledovanie i otsenka stepeni vliyaniya voditelya na kachestvo upravleniya v sisteme voditel'-avtomobil'-doroga // Aktual'nye issledovaniya. 2020. №10-1(13). S. 51-58.

16. Vasil'eva V.V., Levshina K.V. Primenenie metoda aytrekinga dlya otsenki i kontrolya psikhofizicheskogo sostoyaniya voditeley // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2021. №4(75). S. 58-66.

17. Novikov A.N., Sazonova Z.S., Bukalova G.V. Gotovnost' k professional'noy otvetstvennosti kak obrazovatel'naya tsel' // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte. 2019. S. 290-295.

18. Kuznetsov V.A. Problema nadezhnosti pri podgotovke voditeley // Vestnik Udmurtskogo universiteta. 2017. T. 27(2). S. 233-240.

19. Romanov A.N., Pegin P.A. Nadiozhnost' voditelya. Habarovsk: TOGU, 2006. 376 s.

20. Nikonov O.Ya., Volosnikov S.A., Bobrovskiy A.I., Kuznetsov G.A., Zor'kin M.E. Razrabotka veroyatnostnoy matematicheskoy modeli dinamiki oshibok dlya otsenki nadezhnosti operatora // Vestnik HNADU. 2007. №39.

**Ageev Evgeny Viktorovich**

South-West State University

Address: 305040, Russia, Kursk, 50 years of October str., 94

Doctor of technical sciences

E-mail: ageev\_ev@mail.ru

**Vinogradov Evgeny Sergeevich**

South-West State University

Address: 305040, Russia, Kursk, 50 years of October str., 94

Candidate of technical sciences

E-mail: ganek09@rambler.ru

Научная статья

УДК 62-91

doi:10.33979/2073-7432-2024-1-1(84)-73-80

Д.М. ДЕНИСОВ, М.Ю. ИВАНОВ, А.Н. САМСОНОВ

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ МАСЛА ГИДРОТРАНСФОРМАТОРА НА ВЫХОДНУЮ МОЩНОСТЬ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА В РЕЖИМЕ ГИДРОМУФТЫ

***Аннотация.** Исследуется определение потерь мощности гидротрансформатора (ГДТ) на режиме гидромуфты от гидравлических сопротивлений, возникающих в приводе транспортного средства при изменении температуры рабочего тела по результатам испытаний специальных масел для автоматических трансмиссий фирм Mobil ATF Multi-Vehicle и ATF TCL WS. Полученные данные позволяют определить оптимальное расстояние между лопастями насосного колеса, а также использовать данные при моделировании рабочих процессов в ГДТ.*

***Ключевые слова:** гидротрансформатор, температура, вязкость, мощность, гидравлическое сопротивление*

### **Введение**

Гидротрансформатор (ГДТ) и гидромуфта (ГМ) – гидродинамический привод, основными преимуществами которых является увеличение крутящего момента, создаваемого силовой установкой, возможность бесступенчатого изменения передаточного отношения приводных механизмов [3]. Благодаря преимуществам в увеличении крутящего момента от двигателя, гидромеханические передачи (ГМП) массово используются в специальной строительной-дорожной технике во всех климатических районах мира [8]. На выходные характеристики гидромеханической передачи (ГМП) влияют размеры активного диаметра насосного колеса ГДТ, формы и углы лопастей, расстояние между ними, а также рабочие свойства специальных масел для автоматических трансмиссий [9].

Свойства любых жидкостей зависят от температуры. Чем ниже температуры, тем выше сопротивления в гидравлике и меньше полезной мощности [14] на ходовом оборудовании транспортного средства. При повышенных нагрузках на автоматическую коробку передач с повышенной вязкостью масла, ресурс агрегата снижается. Исходя из этого, требуется дополнительная диагностика, что приводит к финансовым издержкам [16].

В условиях работы агрегатов при пониженной температуре, существует необходимость моделирования тепловых процессов в ГДТ с целью оптимизации его рабочих процессов, а также улучшения конструкторских решений при проектировании ГМП.

### **Материал и методы**

В статье использованы методы теоретического и эмпирического исследования. Основой метода теоретического исследования является анализ и синтез теплообменных процессов, происходящих в ГДТ. Развитием полученной теории выступают проведенные измерения по вязкости специальных масел для автоматических трансмиссий. На основе данных вязкости масел, производится математическое моделирование с последующим определением потерь мощности ГДТ от гидравлических сопротивлений [6].

### **Теория**

Специальное масло для автоматических трансмиссий, которое циркулирует в насосном, турбинном и реакторном колесах, увеличивает свою вязкость при понижении температуры, что создает дополнительный момент сопротивления. Комплексные ГДТ могут работать на режиме трансформации момента и на режиме гидромуфты [3]. Определим влияние температуры масла на выходную мощность в режиме гидромуфты.

При расчете транспортного средства (ТС) с ГДТ, можно рассматривать трансмиссию как двухмассовую систему (рис.1) [4]

Используем первый закон термодинамики для определения энергии потока рабочего тела:

$$q = \Delta h + \Delta e + I_{\text{техн}} + I_{\text{сопр}}, \quad (1)$$

где  $\Delta h$  – изменение энтальпии;

$\Delta e$  – изменение кинетической энергии (динамический напор);

$I_{\text{техн}}$  – техническая (полезная) работа;

$I_{\text{сопр}}$  – работа, затрачиваемая на сопротивление потока рабочего тела [17, 18].

В насосном и реакторном колесах не совершается полезной работы, применив (1) для системы насос- турбина-реактор, получим:

- для гидромуфты:

$$\begin{cases} q_H = \Delta h_H + \Delta e_H + I_{C_H} \\ q_T = \Delta h_H + \Delta e_H = \Delta h_T + \Delta e_T + I_{\text{техн}} + I_{C_T}; \end{cases} \quad (2)$$

- для гидротрансформатора:

$$\begin{cases} q_H = \Delta h_H + \Delta e_H + I_{C_H} \\ q_T = \Delta h_H + \Delta e_H = \Delta h_T + \Delta e_T + I_{\text{техн}} + I_{C_T}, \\ q_p = \Delta h_T + \Delta e_T = \Delta h_p + \Delta e_p + I_{C_p} \end{cases} \quad (3)$$

где  $\Delta h_H, \Delta h_T, \Delta h_p$  – соответственно изменение энтальпии насосного, турбинного и реакторного колес;

$\Delta e_H, \Delta e_T, \Delta e_p$  – удельная кинетическая энергия насосного, турбинного и реакторного колес;

$I_{C_H}, I_{C_T}, I_{C_p}$  – работа, необходимая для преодоления сил сопротивления в насосном, турбинном и реакторном колес;

$I_{\text{техн}}$  – полезная работа турбинного колеса [5].

В системе уравнения (2) и (3) в турбинное колесо подводится только часть энергии от насосного колеса в виде  $(\Delta h_H + \Delta e_H)$ . При повышении вязкости масла для автоматических передач при минусовых температурах, в ней появляются значительные силы сопротивления. Соответственно, часть работы затрачивается на преодоление этих сил.

Работа для турбинного колеса ГДТ:

$$I_{\text{техн}} = M_T \cdot \omega_T \cdot \Delta t = K \cdot M_H \cdot \omega_T \cdot \Delta t, \quad (4)$$

где  $K$  – коэффициент трансформации;

$M_H, M_T$  – крутящий момент на насосном и турбинном колесе;

$\omega_T$  – угловая скорость турбинного колеса;

$\Delta t$  – изменение по времени [18, 20, 2].

Изменение энтальпии для насосного и турбинного колеса

$$\begin{aligned} \Delta h_H &= m \cdot c_p \cdot \Delta T_H; \\ \Delta h_T &= m \cdot c_p \cdot \Delta T_T, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $c_p$  – удельная теплоемкость при постоянном давлении;

$\Delta T_H, \Delta T_T$  – изменение температуры рабочего тела на насосном и турбинном колесах;

$m$  – масса рабочего тела (жидкости) [7, 11].

Изменение удельной кинетической энергии для насосного и турбинного колеса

$$\begin{aligned} \Delta e_H &= \frac{G(V_{2H}^2 - V_{1H}^2)}{2g}; \\ \Delta e_T &= \frac{G(V_{2T}^2 - V_{1T}^2)}{2g}, \end{aligned} \quad (6)$$

где  $V_{2H}, V_{1H}$  – скорости потока жидкости при выходе и при входе лопаток насосного колеса;

$V_{1T}, V_{2T}$  – скорости потока жидкости при входе и при выходе лопаток турбинного колеса;

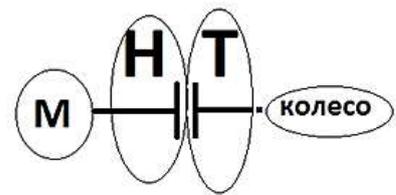


Рисунок 1 – Двухмассовая система ТС с ГДТ: М – двигатель, Н – насосное колесо (ведущая часть), Т – турбинное колесо (ведомая часть)

са;

$G$  – вес рабочего тела [19, 21].

Знак “-“ изменения удельной кинетической энергии турбинного колеса означает, что часть энергии преобразуется в полезную работу, другая часть используется для преодоления сил сопротивления.

Работа сил гидравлического сопротивления для насосного, турбинного и реакторного колес (при расчете не учитываются объемные и механические сопротивления):

$$l_{CH} = \Delta F_{CH} \cdot \Delta t; l_{CT} = \Delta F_{CT} \cdot \Delta t; l_{CR} = \Delta F_{CR} \cdot \Delta t, \quad (7)$$

где  $\Delta F_{CH}$ ,  $\Delta F_{CT}$ ,  $\Delta F_{CR}$  – изменение сил сопротивления в насосном, турбинном и реакторном колесе.

При больших скоростях потока жидкости, сила сопротивления пропорциональна квадрату его скорости, получим [10,12]:

$$\Delta F_{CH} = \frac{S}{\Delta x} \mu \cdot (V_{1H}^2 - V_{2H}^2); \Delta F_{CT} = \frac{S}{\Delta x} \mu \cdot (V_{1T}^2 - V_{2T}^2); \Delta F_{CR} = \frac{S}{\Delta x} \mu \cdot (V_{1P}^2 - V_{2P}^2) \quad (8)$$

где  $\mu$  – динамическая (абсолютная) вязкость масла;

$\frac{S}{\Delta x}$  – отношение площади слоя лопасти к длине участка.

Подставляя формулы (4), (5), (6), (7), (8) в систему (2), получим:

$$\Delta T_{\Gamma} = \frac{G \cdot ((V_{2T}^2 - V_{1T}^2) - (V_{2H}^2 - V_{1H}^2)) + 2 \cdot g \cdot (K \cdot M_H \cdot \omega_T + \frac{S}{\Delta x} \mu \cdot (V_{1T}^2 - V_{2T}^2)) \cdot \Delta t}{2 \cdot m \cdot g \cdot c_p} \quad (9)$$

где  $|\Delta T_{\Gamma}| = (\Delta T_H - \Delta T_T)$  – прирост температуры в гидродинамическом приводе.

Если принять, что  $V_{2T} = V_{1H}$  и  $V_{1T} = V_{2H}$  (при условии отсутствия потерь скорости в реакторном колесе), то получим

$$\Delta T_{\Gamma} = \frac{G \cdot (V_2^2 - V_1^2) - g \cdot (K \cdot M_H \cdot \omega_T + \frac{S}{\Delta x} \mu \cdot (V_2^2 - V_1^2)) \cdot \Delta t}{G \cdot c_p} \quad (10)$$

где  $K=1$  – коэффициент трансформации для гидромурфты.

### Результаты и обсуждение

Рассмотрим насосное колесо ГДТ фирмы Allison (рис. 2):

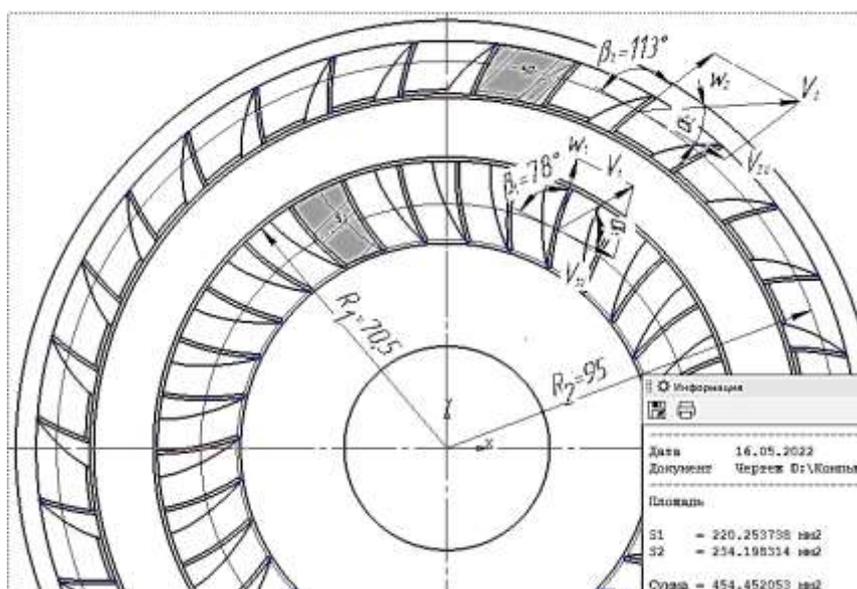


Рисунок 2 – Чертеж насосного колеса ГДТ фирмы Allison:  $w$  – меридианная (радиальная) скорость потока РЖ,  $V_{1c}$  – окружная скорость РЖ,  $V$  – абсолютная скорость РЖ

Течение в трубах прямоугольного и квадратного сечения было исследовано Сен-Венаном. В нашем случае, расход насоса  $Q = w \cdot S$ , где  $w$  – средняя меридианная скорость потока в прямоугольном канале (Скорость жидкости из-за гидравлических потерь составляет не более 3 – 5 м/с);  $S$  – площадь канала ( $S=234 \text{ мм}^2$ ),  $\frac{S}{\Delta x} \approx 0,1$ . Окружная скорость

$$V_u = \omega_n \cdot R_i, \tag{11}$$

где  $R_i$  - радиус насосного колеса до рабочего положения лопастей [15, 1].

Изменение вязкости от температуры для разных жидкостей имеет свое значение, поэтому необходимо опытным путем найти зависимость. Проведя испытания специальных масел для автоматических трансмиссий двух фирм – ATF TCL WS (страна - производитель Япония, для автомобилей Toyota и Lexus); Mobil ATF Multi-Vehicle (американский производитель ExxonMobil, для европейских, азиатских и американских производителей автоматических трансмиссий) вискозиметром Digital Rotary Viscometer NDJ-8S модели RV-2Т, получили:

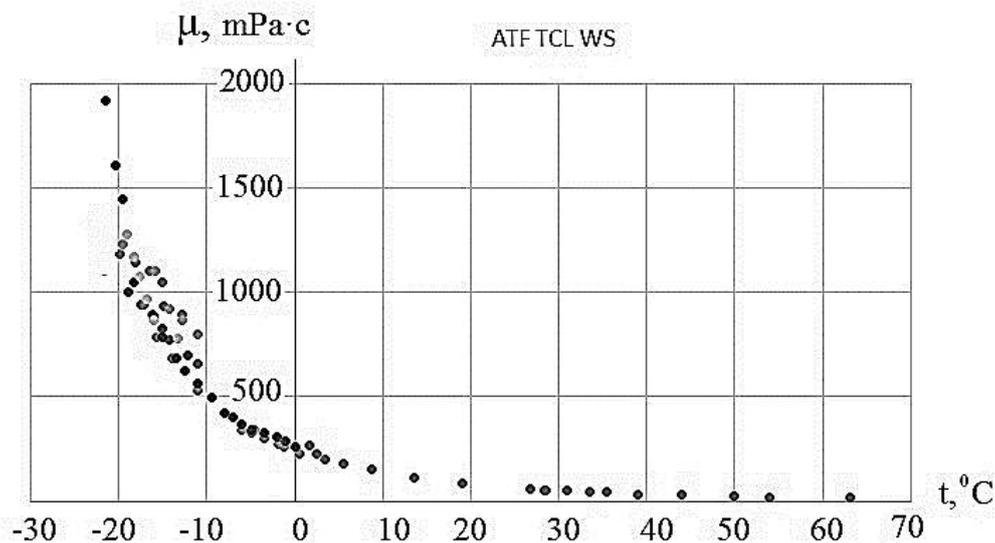


Рисунок 3 – Измерение динамической вязкости от температуры для ATF TCL WS

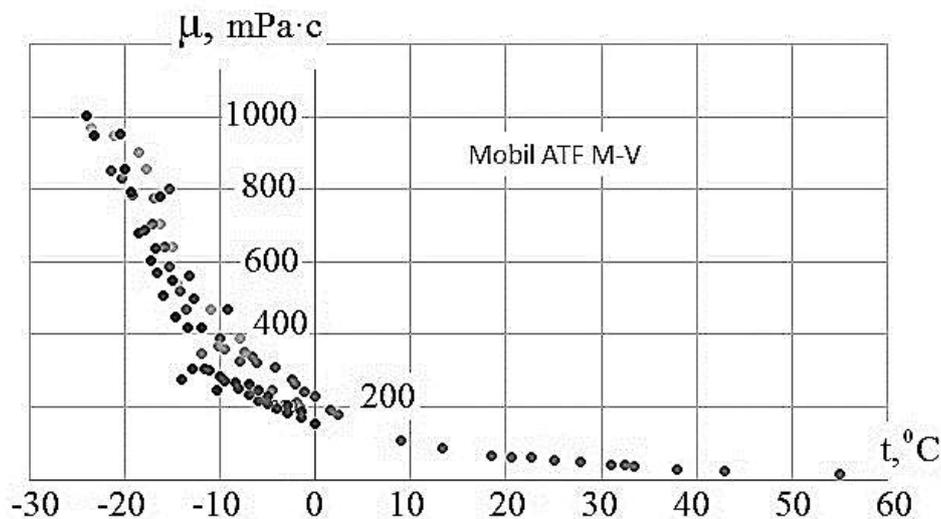


Рисунок 4 – Измерение динамической вязкости от температуры для Mobil ATF Multi-Vehicle

Совместим оба графика и получим рисунок 5, который показывает динамическую вязкость при различных температурах:

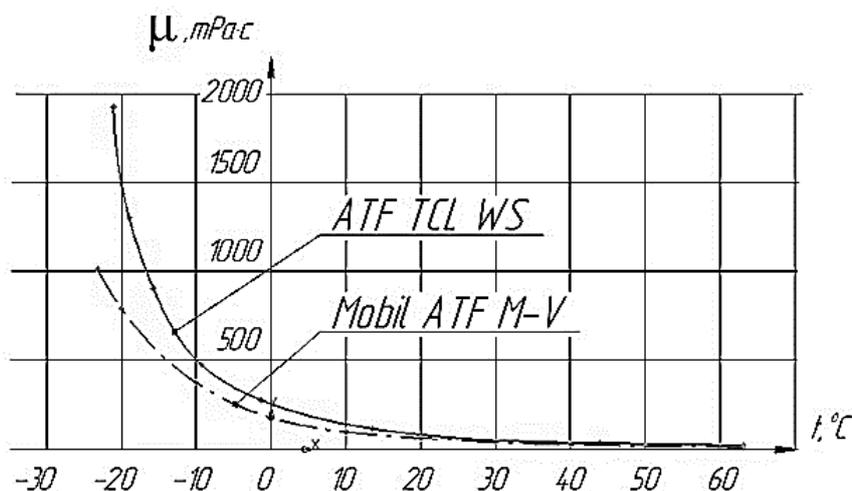


Рисунок 5 – График изменения средних показаний динамической вязкости  $\mu$  от температуры  $t, ^\circ\text{C}$  для масел типа ATF бесступенчатых трансмиссий

Используем графический метод для составления функции изменения вязкости масла от температуры [13]. Графики изменения вязкости на рис.5 описываются следующей функцией:

$$\mu = \left( \frac{\mu_k + 1000}{T + |T_k|} \right) \left( \frac{30}{T + |T_k|} - 0.2 \right), \quad (12)$$

где  $\mu$ -динамическая вязкость ( $\mu_k = 11500 \text{ мПа}\cdot\text{с}$  (вязкость, близкая к застыванию));

$T_k$ - температура масла при  $11500 \text{ мПа}\cdot\text{с}$  (для Mobil ATF Multi-Vehicle  $T_k = -40^\circ\text{C}$ , для ATF TCL WS  $T_k = -35^\circ\text{C}$ ).

Погрешность (12) не превышает 3 % со средними показаниями динамической вязкости.

Используя (10) и (12), получим зависимость выходной мощности турбинного колеса  $N_T$  (%) от температуры масла ATF на единицу массы вещества за 1 сек.:

$$N_T = \left( 1 - \frac{S}{\Delta x} \left( \frac{\mu_k + 1000}{T + |T_k|} \right) \left( \frac{30}{T + |T_k|} - 0.2 \right) 10^{-3} \right) 100(\%). \quad (13)$$

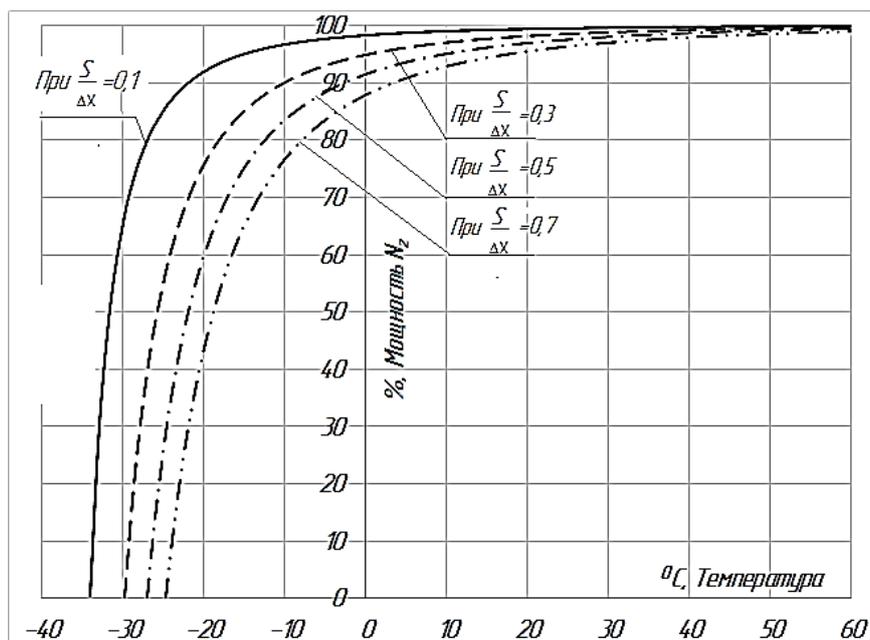


Рисунок 6 – График изменения выходной мощности (%) турбинного колеса  $N_T$  от температуры  $T, ^\circ\text{C}$  для Mobil ATF Multi-Vehicle бесступенчатых трансмиссий

### Выводы

Таким образом определили потери выходной мощности в ГДТ в зависимости от температуры масла Mobil ATF Multi-Vehicle на режиме гидромукты. Используя (13) и рисунок

б, выяснили влияние размеров и расстояния между лопастями насосного колеса на гидравлические сопротивления при изменении температур. Для исследуемого ГДТ, конструкторами выбраны оптимальные отношения размеров лопастей и расстояния между ними, поскольку дальнейшее уменьшение приведет к увеличению гидравлических сопротивлений.

Также можем определять интенсивность нагрева рабочего тела гидроузла, что позволяет моделировать режимы работы гидромеханической передачи на максимальных нагрузках. Это позволяет получать данные процесса теплообмена в гидромеханической передаче при моделировании его работы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Валуева Е.П., Пурдин М.С. Пульсирующее ламинарное течение в прямоугольном канале // Теплофизика и аэромеханика. 2015. Т. 22. № 6. С. 761–773.
2. Гидравлические и пневматические системы транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования: Учебное пособие / В.В. Буренин, Г.С. Мазлумян, Л.А. Пресняков, Г.О. Трифонова, О.И. Трифонова, Р.В. Чайка. М.: филиал ФГУП «ЦЭНКИ»-КБТХМ, 2017. 217 с.
3. Денисов Д.М. Влияние гидромеханической передачи на безопасность дорожного движения // Наука, производство, образование: состояние и перспективы: Сборник научных трудов по мат. Всерос. науч.-практ. конф. Чебоксары: Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева (Чебоксары). 2017. С. 123-127.
4. Денисов Д.М., Иванов, М. Ю., Омаров, А. Н. Динамика процессов в гидротрансформаторе // Автомобильная промышленность. 2021. №10. С. 10-13.
5. Денисов Д.М., Иванов М.Ю. Тепловая энергия в гидротрансформаторе // Техника, дороги и технологии: перспективы и развития: Сборник научных трудов XVII студенческой научно-практической конференции. Чебоксары: Волжский филиал ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», 2021. С. 8-10.
6. Едророва В.Н., Овчаров А.О. Система методов в научных исследованиях // Экономический анализ: теория и практика. 2013. №10(313). С. 33-47.
7. Ерофеев В.Л., Пряхин А.С., Семенов П.Д. Теплотехника в 2 т. Том 1. Термодинамика и теория теплообмена. М.: Юрайт, 2016. 308 с.
8. Иванов М.Ю., Иванова Е.Г. Особенности технического обслуживания дорожно-строительной техники иностранного производства // Техника, дороги и технологии: перспективы и развития. Сборник научных трудов XVII студенческой научно-практической конференции. Чебоксары: Волжский филиал ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», 2023. С. 16-19.
9. Иванов М.Ю. Конструктивные особенности гидромеханических передач для городских автобусов // Дорожно-транспортный комплекс: состояние, проблемы и перспективы развития. Статьи участников XX Республиканской технической научно-практической конференции. Чебоксары: Волжский филиал ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», 2021. С. 12-20.
10. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. 3-е изд. Москва: Машиностроение, 1992. 672 с.
11. Исаченко В.П., Осипова В.П., Сукомел А.С. Теплопередача. М.: Курс, 2015. 423 с
12. Ларионов В.М., Филипов С.Е. Введение в гидродинамику: учебное пособие: курс лекция, решение задач. Казань: КГУ, 2010. 108 с.
13. Мордкович А.Г., Семенов П.В. Алгебра и начала математического анализа. 11 класс. В 2 ч. Ч. 1: Учебник для учащихся общеобразовательных учреждений (профильный уровень). 2-е изд. Москва: Мнемозина, 2008. 287 с.
14. Никулин А.А., Орехов А.А. Анализ работы ведущих мостов грузовых автомобилей в условиях низких температур окружающего воздуха // Актуальные вопросы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта: Сборник научных трудов по материалам 81-ой научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ. М.: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2023. С. 187-191.
15. Никитин Н.В., Попеленская Н.В. Турбулентные пульсирующие течения в трубе квадратного сечения // Известия российской академии наук. механика жидкости и газа. 2023. №2. С. 55-71.
16. Самсонов А.Н., Иванов М.Ю., Тончева Н.Н. Диагностика автоматических коробок переключения передач // Техника, дороги и технологии: перспективы и развития: Сборник научных трудов XVII студенческой научно-практической конференции. Чебоксары: Волжский филиал ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», 2023. С. 22-27.
17. Сахин В.В., Герлиман Е.М., Голикова В.В. Уравнения Бернулли и первый закон термодинамики для потока газа // Системный анализ и аналитика. 2019. №1(9). С. 29-37.
18. Моргунов К.П. Гидравлика. 3-е изд. Санкт-Петербург: Лань, 2023. 280 с.
19. Стихановский Б.Н., Стихановская Л.М. Строительные и дорожные машины с рекуператором кинетической энергии

тической энергии // Вестник сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2016. №1(47). С. 22-28.

20. Шарипов В.М., Щетинин Ю.С., Гаев С.В., Трошкин О.В. Энергетический анализ двухпоточных гидромеханических передач // Тракторы и сельхозмашины. 2017. №10. С. 39-49.

21. Шакиров А.А., Пулатова Д.М., Тураева У.Ф. Преобразование энергии движения водного потока в полезную энергию с использованием энергии малых водотоков // Тенденции развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: Материалы международной научно-практической конференции. Саратов: ООО «Амирит», 2016. С. 301-304.

**Денисов Денис Михайлович**

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Волжский филиал

Адрес: 428 000, Россия, г. Чебоксары, пр. Тракторостроителей, д. 101

К.т.н., доцент кафедры «Транспортные, технологические машины и наземные транспортно-технологические средства»

E-mail: denisovloko@yandex.ru

**Иванов Максим Юрьевич**

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Волжский филиал

Адрес: 428 000, Россия, г. Чебоксары, пр. Тракторостроителей, д. 101

К.т.н., зав. кафедрой «Транспортные, технологические машины и наземные транспортно-технологические средства»

E-mail: ivanovmu84@mail.ru

**Самсонов Андрей Николаевич**

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Волжский филиал

Адрес: 428 000, Россия, г. Чебоксары, пр. Тракторостроителей, д. 101

К.т.н., доцент кафедры «Транспортные, технологические машины и наземные транспортно-технологические средства»

E-mail: dyha2004@mail.ru

---

D.M. DENISOV, M.Y. IVANOV, A.N. SAMSONOV

## THE EFFECT OF THE HYDRAULIC TORQUE CONVERTER OIL TEMPERATURE ON THE OUTPUT POWER OF THE VEHICLE IN THE HYDRAULIC COUPLING MODE

*Abstract.* The purpose of the study is to determine the power loss of the hydraulic torque converter from hydraulic resistance that occurs in the vehicle drive when the temperature of the working fluid changes, based on the results of testing special oils for automatic transmissions from Mobil ATF Multi-Vehicle and ATF TCL WS. The data obtained make it possible to determine the optimal distance between the impeller blades, as well as to use it in modeling workflows in hydraulic torque converter.

**Keywords:** hydraulic torque converter, temperature, viscosity, power, hydraulic resistance

### BIBLIOGRAPHY

1. Valueva E.P., Purdin M.S. Pul'siruyushchee laminarnoe techenie v pryamougol'nom kanale // Teplofizika i aeromekhanika. 2015. T. 22. № 6. S. 761-773.

2. Gidravlicheskie i pnevmaticheskie sistemy transportnykh i transportno-tekhnologicheskikh mashin i oborudovaniya: Uchebnoe posobie / V.V. Burenin, G.S. Mazlumyan, L.A. Presnyakov, G.O. Trifonova, O.I. Trifonova, R.V. CHayka. M.: filial FGUP «TSENKI»-KBTHM, 2017. 217 s.

3. Denisov D.M. Vliyaniye gidromekhanicheskoy peredachi na bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya // Nauka, proizvodstvo, obrazovanie: sostoyaniye i perspektivy: Sbornik nauchnykh trudov po mat. Vseros. nauch.-prakt. konf. Cheboksary: Chuvashskiy gosudarstvennyy pedagogicheskiy universitet im. I.Ya. YAKovleva (Cheboksary). 2017. S. 123-127.

4. Denisov D.M., Ivanov, M. YU., Omarov, A. N. Dinamika protsessov v gidrotransformatore // Avtomobil'naya promyshlennost'. 2021. №10. S. 10-13.

5. Denisov D.M., Ivanov M.YU. Teplovaya energiya v gidrotransformatore // Tekhnika, dorogi i tekhnologii: perspektivy i razvitiya: Sbornik nauchnykh trudov XVII studencheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Cheboksary: Volzhskiy filial FGBOU VO «Moskovskiy avtomobil'no-dorozhnyy gosudarstvennyy tekhnicheskoy universitet (MADI)», 2021. S. 8-10.
6. Edronova V.N., Ovcharov A.O. Sistema metodov v nauchnykh issledovaniyakh // Ekonomicheskoy analiz: teoriya i praktika. 2013. №10(313). S. 33-47.
7. Erofeev V.L., Pryakhin A.S., Semenov P.D. Teplotekhnika v 2 t. Tom 1. Termodinamika i teoriya teploobmena. M.: Yurayt, 2016. 308 s.
8. Ivanov M.YU., Ivanova E.G. Osobennosti tekhnicheskogo obsluzhivaniya dorozhno-stroitel'noy tekhniki inostrannogo proizvodstva // Tekhnika, dorogi i tekhnologii: perspektivy i razvitiya. Sbornik nauchnykh trudov XVII studencheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Cheboksary: Volzhskiy filial FGBOU VO «Moskovskiy avtomobil'no-dorozhnyy gosudarstvennyy tekhnicheskoy universitet (MADI)». 2023. S. 16-19.
9. Ivanov M.YU. Konstruktivnye osobennosti gidromekhanicheskikh peredach dlya gorodskikh avtobusov // Dorozhno-transportnyy kompleks: sostoyanie, problemy i perspektivy razvitiya. Stat'i uchastnikov HH Respublikanskoj tekhnicheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Cheboksary: Volzhskiy filial FGBOU VO «Moskovskiy avtomobil'no-dorozhnyy gosudarstvennyy tekhnicheskoy universitet (MADI)», 2021. S. 12-20.
10. Idel'chik I.E. Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam. 3-e izd. Moskva: Mashinostroenie, 1992. 672 c.
11. Isachenko V.P., Osipova V.P., Sukomel A.S. Teploperedacha. M.: Kurs, 2015. 423 s.
12. Larionov V.M., Filipov S.E. Vvedenie v gidrodinamiku: uchebnoe posobie: kurs lektsiya, reshenie zadach. Kazan': KGU, 2010. 108 s.
13. Mordkovich A.G., Semenov P.V. Algebra i nachala matematicheskogo analiza. 11 klass. V 2 ch. Ch. 1: Uchebnik dlya uchashchikhsya obshcheobrazovatel'nykh uchrezhdeniy (profil'nyy uroven'). 2-e izd. Moskva: Mne-mozina, 2008. 287 c.
14. Nikulin A.A., Orekhov A.A. Analiz raboty vedushchikh mostov gruzovykh avtomobiley v usloviyakh nizkikh temperatur okruzhayushchego vozdukh // Aktual'nye voprosy tekhnicheskoy ekspluatatsii i avtoservisa podvizhnogo sostava avtomobil'nogo transporta: Sbornik nauchnykh trudov po materialam 81-oy nauchno-metodicheskoy i nauchno-issledovatel'skoy konferentsii MADI. M.: Moskovskiy avtomobil'no-dorozhnyy gosudarstvennyy tekhnicheskoy universitet (MADI), 2023. S. 187-191.
15. Nikitin N.V., Popelenskaya N.V. Turbulentnye pul'siruyushchie techeniya v trube kvadratnogo secheniya // Izvestiya rossiyaskoy akademii nauk. mekhanika zhidkosti i gaza. 2023. №2. S. 55-71.
16. Samsonov A.N., Ivanov M.Yu., Toncheva N.N. Diagnostika avtomaticheskikh korobok pereklyucheniya peredach // Tekhnika, dorogi i tekhnologii: perspektivy i razvitiya: Sbornik nauchnykh trudov XVII studencheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Cheboksary: Volzhskiy filial FGBOU VO «Moskovskiy avtomobil'no-dorozhnyy gosudarstvennyy tekhnicheskoy universitet (MADI)», 2023. S. 22-27.
17. Sakhin V.V., Gerliman E.M., Golikova V.V. Uravneniya Bernulli i pervyy zakon termodinamiki dlya potoka gaza // Sistemnyy analiz i analitika. 2019. №1(9). S. 29-37.
18. Morgunov K.P. Gidravlika. 3-e izd. Sankt-Peterburg: Lan, 2023. 280 c.
19. Stikhanovskiy B.N., Stikhanovskaya L.M. Stroitel'nye i dorozhnye mashiny s rekuperatorom kineticheskoy energii // Vestnik sibirskoy gosudarstvennoy avtomobil'no-dorozhnoy akademii. 2016. №1(47). S. 22-28.
20. Sharipov V.M., Shchetinin YU.S., Gaev S.V., Troshkin O.V. Energeticheskoy analiz dvukhpotochnykh gidromekhanicheskikh peredach // Traktory i sel'khoz mashiny. 2017. №10. S. 39-49.
21. Shakirov A.A., Pulatova D.M., Turaeva U.F. Preobrazovanie energii dvizheniya vodnogo potoka v poleznuyu energiyu s ispol'zovaniem energii malykh vodotokov // Tendentsii razvitiya stroitel'stva, teplogazosnab-zheniya i energoobespecheniya: Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Saratov: OOO «Amir-it», 2016. S. 301-304.

**Denisov Denis Mikhailovich**

Volga branch of the Moscow automobile and road state technical University  
Address: 428000, Russia, Cheboksary  
Candidate of technical sciences  
E-mail: denisovloko@yandex.ru

**Samsonov Andrey Nikolaevich**

Volga branch of the Moscow automobile and road state technical University  
Address: 428000, Russia, Cheboksary  
Candidate of technical sciences  
E-mail: dyha2004@mail.ru

**Ivanov Maxim Yurievich**

Volga branch of the Moscow automobile and road state technical University  
Address: 428000, Russia, Cheboksary  
Candidate of technical sciences  
E-mail: ivanovmu84@mail.ru

Научная статья

УДК 629.3.023.151

doi:10.33979/2073-7432-2024-1-1(84)-81-86

И.Ф. ДЬЯКОВ, Ю.В. МОИСЕЕВ, В.И. ДЬЯКОВ

## ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОДВЕСКИ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

**Аннотация.** Изложен метод оптимизации подвески транспортного средства, дана целевая функция, варьируемые параметры, системы ограничений. Расчетный метод проиллюстрирован конкретным примером транспортного средства. Приведены результаты оптимизации параметров подвески, обеспечивающие снижение времени затухания колебаний подрессоренной массы, удельные затраты на текущий ремонт. Результаты оптимизации массы подвески позволили уточнить возможности изменения количества используемых коренных листов в рессоре.

**Ключевые слова:** подвеска, интенсивность колебаний, комфортабельности движения, оптимальная система, металлоемкость подвески, вероятность безотказной работы

### Введение

Повышение эффективности использования транспортных средств тесно связано с использованием и развитием теории оптимизации, позволяющей проектировать конструкторские решения на более высоком уровне. Особенно наглядно это проявляется при проектировании транспортных средств – наиболее конструктивно сложных и эксплуатирующихся в самых различных дорожных и климатических условиях. Конструктивные усовершенствования элементов подвески решаются разными заводами по-разному, что свидетельствует о недостаточности развития теории оптимизации, влияющей на эксплуатационные свойства транспортного средства [1-11]. При проектировании подвески транспортного средства учитывают нагрузочные режимы, дорожные условия, плавность хода, долговечность, но недостаточно полно рассматриваются вопросы надежности, металлоемкости и интенсивности колебаний. Такой полный объем вопросов решать одновременно представляет сложную задачу.

### Материал и методы

При проектировании подвески с учетом жесткости шин транспортного средства в качестве материала оценочного показателя используют относительные коэффициенты затухания колебаний подрессоренной массы и представляют её как динамическую систему с кинематическими возмущениями. При проектировании использование линейных математических моделей в большинстве случаев затруднено. В этих моделях задачи прогнозирования надёжности и оптимизации параметров подвески требуют как теоретических, так и экспериментальных исследований. Чем «мягче» характеристика упругого элемента подвески, тем больший промежуток времени колесо находится в контакте с опорной поверхностью, а возникающий импульс силы плавно передается от колеса на подрессоренную массу транспортного средства.

Наибольшее влияние оказывают интенсивность колебаний и длительность воздействия на человека, а также вертикальные ускорения подрессоренной массы. Представим их в виде эквивалентной  $L_{\text{ЭКВ}}$  системы методом решения поставленной задачи:

$$L_{\text{ЭКВ}} = 20 \lg \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \left( \frac{\ddot{z}(t)}{10^{-6}} \right)^2 dt} \leq [L_{\text{ЭКВ}}],$$

где  $T$  – длительность воздействия колебаний на человека;

$\ddot{z}$  – среднеквадратическая величина вертикальных ускорений кузова

$$\bar{f}(\ddot{z}) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |B(i\omega)|^2 S_z(i\omega) d\omega \leq [f(\ddot{z})],$$

где  $B(i\omega) = (i\omega)^2$ ;

$S_z(i\omega)$  - спектральная плотность случайного процесса  $z(t)$ ;

$\phi_i(\lambda_i)$  – комфортабельности движения транспортного средства

$$\phi_i(\lambda_i) = \psi(\lambda_i) + \sum a_j^2 M[\delta_j^2] \geq [\varphi(k_n)] \geq [\phi(\lambda)],$$

где  $\psi = \psi(k_n)$  - критерий комфортабельности

$$\psi = \sum M \left\{ |a_i q_i(t)|^2 \right\},$$

$q_i(t)$  – среднее значение высоты неровностей дороги;

$a_i$  - весовой коэффициент;

$M\{a_i q_i(t)\}$  - математическое ожидание высоты неровностей дороги.

Максимальное снижение виброн нагруженности и вредного воздействия на организм человека-оператора имеет важное практическое и научное значение технического уровня и качества проектируемых транспортных средств [12-14]. В связи с этим выбор метода и разработка методики оптимальной системы проектирования подвески подрессоренной массы транспортного средства являются практическими задачами. Учитывая широкие области использования транспортных средств, как по назначению, так и по дорожным условиям, целесообразно иметь в процессе проектирования характеристики влияния параметров отдельно на производительность, зависимость от скорости движения и на расход топлива. При движении по неровностям дороги происходит изменение силы сцепления, колебания подрессоренной массы и сопротивления качению. При колебании, например, правого колеса приводит к изменению силы тяги левого колеса.

Результаты эксплуатации транспортных средств показывают, что методы однофакторного анализа не могут обеспечить высокий уровень достоверности исследований. Возникает необходимость учета взаимодействия нескольких факторов, например, плавность хода зависит от жесткости шин, рессор, сопротивления амортизаторов и неровности дорожной поверхности. Поэтому при решении задач для каждого показателя следует применять метод многофакторного анализа. Вопросы обеспечения устойчивости, управляемости, топливной экономичности, плавности хода при регрессионном анализе надо использовать около четырнадцати конструктивных факторов. Причем многофакторный анализ недостаточно полно дает оптимальный результат.

### Теория и расчет

В решаемой задаче для обеспечения плавности хода использован критерий оптимальности подвески (целевая функция) транспортного средства с учетом затрат на приобретение материала, изготовления и сборки, отнесенные к ресурсу подвески [15-17] и представлен в

$$q_h(z) = \frac{\sum (Z_p + C_{ш} + C_a) \tau_o}{J_{si}} \rightarrow \min,$$

где  $Z_p$  – затраты на рессоры, включая стоимость материала, изготовления и сборки;

$C_{ш}$  – стоимость шины;

$C_a$  – стоимость амортизатора;

$\tau_o$  – удельная трудоемкость обслуживания от стоимости подвески, н-ч/руб;

$J_{si}$  – наработка, приходящаяся на подвеску до отказа, измеряемой в кВт·ч.

Наработка подвески транспортного средства определяется из выражения

$$J_{si} = G_{эи} A_{\Gamma} L_s k_{\gamma} \beta k_{\Pi} \geq [J_{si}],$$

где  $G_{эи}$  – эквивалентное напряжение изгиба рессоры;

$A_{\Gamma}$  – площадь петли гистерезиса;

$L$  – пробег;

$k_{\gamma}$ ,  $\beta$  – коэффициенты использования грузоподъёмности и пробега соответственно;

$k_{\Pi}$  – коэффициент перевода из (Н·м) в кВт·ч ,

при условии:

– металлоемкость подвески (масса подвески, отнесенная к подрессоренной массе)

$$k_{\gamma} = (m_{\Pi М} - m_{\Pi}) / R_{\Pi М} \geq [k_{\gamma}],$$

где  $m_{\Pi М}$  – подрессоренная масса транспортного средства;

$m_{\Pi}$  – масса рессоры;

$R_{\Pi М}$  – реакция, приходящаяся на рессору;

– вероятность безотказной работы подвески в течение заданного интервала наработки

$$[15-16] J_s(H) = e^{-\lambda J_{si}} \geq [J_s(H)],$$

где  $\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i$  – интенсивность отказов для всей подвески, 1/тыс.кВт·ч;

$\lambda_i$  – интенсивность отказов отдельных элементов, входящих в систему подвески, 1/тыс.кВт·ч;

$n$  – число элементов в подвеске;

$J_{si}$  – наработка, для которой определяется вероятность безотказной работы, тыс.кВт·ч.;

$e$  – основание натуральных логарифмов;

– удельные потери от снижения надежности подвески

$$J_s(H) = \frac{3_{\Pi} [\bar{J}_{si} - J_{si}]}{\bar{J}_{si} \cdot J_{si}} \leq [J_s(H)],$$

где  $3_{\Pi}$  – затраты на ремонт подвески;

$\bar{J}_s$  – средняя наработка для которой определяется вероятность безотказной работы;

– вибрационная безопасность подвески  $\theta_{ni} = m_{\Pi М} \left\{ [q_i(h) - z_{\Pi М}(h)]^2 \right\} \leq [\theta]$ ,

где  $q_i(h)$  – вектор возмущения переднего моста от микропрофиля дорожной поверхности;

$z_{\Pi М}(h)$  вектор перемещения передней подрессоренной массы;

$[\theta] = 0,3 h_{z_{дин}}$  – ограничитель безопасности подвески;  $h_{z_{дин}}$  – динамический прогиб подвески;

– амплитудно-частотная характеристика переднего моста транспортного средства

$$\ddot{z} / q(h) = c_{ш.i} \gamma^2 \sqrt{\frac{k_a^2 \gamma^2 + c_{pi}^2}{\left[ m_{\Pi М} \gamma^4 - (c_{pi} m_{\Pi М} + c_{ш.i} m_{\Pi М}) \gamma^2 + c_{pi} c_{ш.i} \right]^2}} \leq [\ddot{z} / q(h)],$$

где  $\ddot{z}$  – ускорения вертикальных перемещений;

$q(h)$  – высота неровности дорожного покрытия;

$\gamma$  – частота вынужденных колебаний;

$k_a$  – коэффициент сопротивления амортизаторов;

$c_{pi}$  – жесткость передних рессор.

**Результаты и обсуждение**

Из общей постановки задачи выделены постоянные показатели:  $m_a, m_{п.м}, m_{з.м}$ , остальные показатели варьируются в заданных пределах допуска. Для проведения оптимизации необходимо установить границы подлежащей оптимизации системы. По допустимым границам системы ограничений строим область Парето. Ограничения соединены между собой через одинаковые параметры и введены в целевую функцию, получив функционал, который из-за громоздкости не приводится в аналитической форме.

На втором этапе выбирается метод оптимизации ориентированный на нахождение наилучшего варианта из множества альтернатив при полном переборе переменных параметров. Так как система ограничений нелинейны, то для решения такой задачи использован метод штрафных функции. Если варьируемый параметр выходит за допустимый предел области Парето, то решение приводит к «штрафу» и возвращается параметр в исходное состояние. При решении этой задач все остальные переменные параметры функционала принимаются постоянными. Оптимизация проводится по выбранному критерию с использованием стандартной программы MatLab.

Пример и результаты расчета.

Для оптимального проектирования подвески автомобиля УАЗ-3303 использованы следующие данные:

- дорожные условия – грунтовые и асфальтированные;
- стоимости элементов подвески: рессора передняя – 4234 руб., шины – 3483 руб., амортизатора (FENOX) – 1723 руб;
- среднесуточный пробег – 150... 200 км;
- жесткость передней/задней рессоры – 12,2, /15,9 кН/м;
- коэффициент использования пробега – 0,5;
- средний коэффициент использования грузоподъемности 0,83...0,95;
- масса переднего/заднего моста – 1560/1280, Н;
- масса рессоры – 216 Н;
- масса одного коренного листа рессоры – 18,2 Н
- коэффициент сопротивления амортизатора – 0,15...0,25
- компьютер с программном обеспечением;
- наработка подвески за период наблюдения -41,250-55,0 тыс. км или (5,0737-6,765 тыс.кВт·ч);
- срок наблюдения за автомобилями 1,0–1,5 года.

Результаты исследования

Все переменные геометрические параметры варьировались с целью получения параметров оптимальной подвески. В табл. приведены расчетно-экспериментальные результаты при критерии оптимальности 0,186.

Таблица 1 – Результаты оптимизации параметров подвески автомобиля УАЗ-3303

Вид дороги	Средняя скорость движения, км/ч	Результаты оптимизации параметров подвески			
		вероятность без-отказной работы подвески тыс. кВт·ч	вибрационная безопасно-сти, $\theta_{ni} \cdot 10^{-3}$	АЧХ переднего моста, $z/q(h)$ , Гц	время затухания Колебаний передне-го моста, с
Асфальти-рованные	30	5,412	35	0,7–1,4	0,12
	40		15,6	1,4–2,8	0,15
	50		34,3	2,8–5,4	0,18
Грунтовые	30	4,058	62,0	2,3– 3,4	0,14
	40		140	3,4 – 4,5	0,17
	50		390	4,5 –10,2	0,20

### **Выводы**

1. Оптимальность подвески автомобиля УАЗ достигается при жесткости рессор на 20-30 % выше жесткости шин для асфальтированных дорог.
2. Для грунтовых дорог жесткость шин на 12-15 % должна быть больше рессор. Такие требования приемлемы для подвески с автоматическим регулированием.
3. Получены результаты снижения времени затухания колебаний поддрессоренной массы на 15-20 %, рессор на 7-9 %, причем масса одного листа составляет 1,82 кг, удельные потери от снижения надежности подвески не превышают более 5 %.
4. Результаты оптимизации массы подвески позволяют определить возможности изменения количества используемых коренных листов в рессоре.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Фурунжиев Р.И. Проектирование оптимальных виброзащитных систем. Минск.: Вышэйшая школа, 1971. 320 с.
2. Руктешель О.С. Плавность хода автомобиля. Минск: БНТУ, 2021. 61 с.
3. Жеглов Л.Ф. Автоматические системы поддрессоривания. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 486 с.
4. Горнев И.А. Зависимость затрат на запасные части от возрастного подвижного состава автомобильного транспорта // Известие ЮУрГУ. №44. 2012. С. 185-186.
5. Дьяков И.Ф. Основы оптимизации в автомобилестроении. М.: Машиностроение, 2012. 380 с.
6. Аубекеров Н.А., Аубекерова Ж.Н. Сунгатолланова А.Ж. и др. Индивидуальное прогнозирование отказов деталей автомобиля с учетом действительных режимов их работы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. Карагандинский государственный технический университет. 2018. №1. С. 16-20.
7. Аксенов П.В., Белоусов Б.Н. Критерии для оценки схем // Автомобильная промышленность. №6. 1997. С. 12-16.
8. Пирковский Ю.В., Шухман С.Б. Теория движения полноприводного автомобиля (прикладные вопросы оптимизации конструкции шасси). М.: ЮНИТИ, 2001. 230 с.
9. Проектирование полноприводных машин / под ред. А.А. Полунгяна. Т.1. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. 486 с.
10. Жеглов Л.Ф. Виброакустика колесных машин. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. 170 с.
11. Афонин М.А. Применение GALS – технологии информационной поддержки на стадии эксплуатации автотранспортных средств как способ обеспечения их надежности // Вестник военного института материального обеспечения. №2(46). 2018. С. 41-30.
12. Аттетков А.В., Галкин С.В., Зарубин В.С. Методы оптимизации. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. 427 с.
13. Кулешов А.А., Литвин А.Г. Анализ современных методов прогнозирования ресурса узлов и деталей горнотранспортных машин // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2004. Вып. 3. С. 294-297.
14. Данченко А.В., Ольгард Л.С., Бондарев С.В., Волков Л.Г. Прогнозирование остаточного ресурса ходовых частей подвижного состава, исчерпавших свой ресурс // Вістник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. 2007. №15. С. 83-87.
15. Устройство для учета ресурса транспортных машин: а.с. 688910 / Дьяков И.Ф., Журавлев Ю.А. Старцев Н.Н., Бюл. 36.
16. Устройство для учета работы двигателя транспортной машины: а.с. 1206825 / Дьяков И.Ф., Мартищенко К.И., Данкевич В.Г., Бюл. 3.
17. Устройство для поддрессоривания транспортного средства: пат. 2767377 Рос Федерация / Дьяков И.Ф., Моисеев Ю.В.; опубл. 17.03.22, Бюл. № 8.

#### **Дьяков Иван Федорович**

Ульяновский государственный технический университет  
Адрес: 432027, Россия, г. Ульяновск, Северного Венца, 32  
Д.т.н., профессор кафедры «Основы машиностроения»  
E-mail: i.dykov@ulstu.ru

#### **Моисеев Юрий Васильевич**

Ульяновское АО «Системы Безопасности»  
Адрес: 432011, Россия, г. Ульяновск, ул. Ленина, 6  
К.э.н., зам.директор ЗАО «Системы безопасности»  
E-mail: yurymoiseev@mail.ru

Дьяков Владислав Иванович

Ульяновское ОАО «Евроизол»

Адрес: 432035, Россия, г. Ульяновск, Московское шоссе, 6

К.т.н., инженер-программист

E-mail: v.dyakov72@mail.ru

I. F. DYAKOV, Y.V. MOISEEV, V.I. DYAKOV

## OPTIMAL SUSPENSION DESIGN VEHICLE

*Abstract. A method for optimizing vehicle suspension is outlined, and calculation models of the system of constraints applied to optimizing vehicle suspension are given. The calculation method is illustrated with a specific example of a vehicle. The results of optimization of a specific object by choosing the most rational design parameters are presented.*

**Keywords:** suspension, vibration intensity, driving comfort, optimal system, suspension metal consumption, probability of failure-free operation

### BIBLIOGRAPHY

1. Furunzhiev R.I. Proektirovanie optimal'nykh vibrozashchitnykh sistem. Minsk.: Vysheyschaya shkola, 1971. 320 s.
2. Ruktshel' O.S. Plavnost' khoda avtomobilya. Minsk: BNTU, 2021. 61 s.
3. Zheglov L.F. Avtomaticheskie sistemy podressorivaniya. M.: MGTU im. N.E. Baumana, 2001. 486 s.
4. Gornev I.A. Zavisimost' zatrat na zapasnye chasti ot vozrastnogo podvizhnogo sostava avtomobil'nogo transporta // Izvestie YUUrGU. №44. 2012. S. 185-186.
5. D'yakov I.F. Osnovy optimizatsii v avtomobilstroenii. M.: Mashinostroenie, 2012. 380 s.
6. Aubekero N.A., Aubekero ZH.N. Sungatollanova A.Zh. i dr. Individual'noe prognozirovanie otkazov detaley avtomobilya s uchedom deystvitel'nykh rezhimov ikh raboty // Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy. Karagandinskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet. 2018. №1. S. 16-20.
7. Aksenov P.V., Belousov B.N. Kriterii dlya otsenki skhem // Avtomobil'naya promyshlennost'. №6. 1997. S. 12-16.
8. Pirkovskiy Yu.V., Shukhman S.B. Teoriya dvizheniya polnoprivodnogo avtomobilya (prikladnye voprosy optimizatsii konstruksii shassi). M.: YUNITI, 2001. 230 s.
9. Proektirovanie polnoprivodnykh mashin / pod red. A.A. Polungyana. T.1. M.: MGTU im. N.E. Baumana, 1999. 486 s.
10. Zheglov L.F. Vibroakustika kolesnykh mashin. M.: MGTU im. N.E. Baumana, 2013. 170 s.
11. Afonin M.A. Primenenie GALS - tekhnologii informatsionnoy podderzhki na stadii ekspluatatsii avtotransportnykh sredstv kak sposob obespecheniya ikh nadezhnosti // Vestnik voennogo instituta material'nogo obespecheniya. №2(46). 2018. S. 41-30.
12. Atetkov A.V., Galkin S.V., Zarubin V.S. Metody optimizatsii. M.: MGTU im. N. E. Baumana, 2003. 427 s.
13. Kuleshov A.A., Litvin A.G. Analiz sovremennykh metodov prognozirovaie resursa uzlov i detaley gornotransportnykh mashin // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2004. Vyp. 3. S. 294-297.
14. Danchenko A.V., Ol'gard L.S., Bondarev S.V., Volkov L.G. Prognozirovanie ostatochnogo resursa khodovykh chastei podvizhnogo sostav, ischerpavshikh svoy resurs // Vistnik Dnipropetrov'skogo natsional'nogo universitetu zaliznichnogo transportu im. akademika V. Lazaryana. 2007. №15. S. 83-87.
15. Ustroystvo dlya ucheta resursa transportnykh mashin: a.s. 688910 / D'yakov I.F., Zhuravlev Yu.A. Startsev N.N., Byul. 36.
16. Ustroystvo dlya ucheta raboty dvigatelya transportnoy mashiny: a.s. 1206825 / D'yakov I.F., Martishchenko K.I., Dankevich V.G., Byul. 3.
17. Ustroystvo dlya podressorivaniya transportnogo sredstva: pat. 2767377 Ros Federatsiya / D'yakov I.F., Moiseev Yu.V.; opubl. 17.03.22, Byul. № 8.

**Dyakov Ivan Fedorovich**

Ulyanovsk State Technical University

Address: 432027, Russia, Ulyanovsk

Doctor of technical sciences

E-mail: i.dyakov@ulstu.ru

**Dyakov Vladislav Ivanovich**

Ulyanovsk OJSC «Euroizol»

Address: 432035, Russia, Ulyanovsk

Candidate of technical sciences

E-mail: v.dyakov72@mail.ru

**Moiseev Yuri Vasilievich**

Ulyanovsk JSC «Security Systems»

Address: 432011, Russia, Ulyanovsk

Candidate of economic sciences

E-mail: yurymoiseev@mail.ru

Научная статья

УДК 62-51

doi:10.33979/2073-7432-2024-1-1(84)-87-93

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

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИМ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ

**Аннотация.** За последние несколько лет тенденция увеличения на дорожном пространстве средств индивидуальной мобильности (СИМ) повышает количества дорожно-транспортных происшествий с участием данных средств, что естественно создаёт угрозу для жизни населения. В работе производится оценка эффективности от использования СИМ в городской среде с постоянно увеличивающимся трафиком и стремительно застраиваемой инфраструктурой. Рассмотрены основные показатели без учета, которых невозможно обеспечить полноценное и результативное функционирование транспортной сферы.

**Ключевые слова:** инфраструктура, оценка, эффективность, дорожное движение, средства индивидуальной мобильности

### Введение

Стремительное увеличение на дорогах общего пользования средств индивидуальной мобильности (СИМ) создаёт острую угрозу в повышении количества дорожно-транспортных происшествий с участием данных средств [1]. Опасность существует не только для средств индивидуальной мобильности, но также для пешеходов и водителей транспортных средств.

Однако существуют как минусы от использования данных средств, так и плюсы. Средства индивидуальной мобильности крайне необходимы в густонаселенных городах с плотной застройкой и обладают большим количеством положительных факторов: экономия времени передвижения в пределах города при частых заторах, беспрепятственная возможность парковки, простота эксплуатации использования, экологичность, доступность для любых слоев населения [2].

Для комфортного и экономического использования данных средств передвижения необходимо доказать, что использование СИМ на улично-дорожной сети является в большей степени экономически эффективным в отличие от легковых транспортных средств, и полный их запрет на законодательном уровне не будет являться правильным решением при дальнейшем увеличении процента аварийности с их участием.

### Материал и методы

Для достижения данной цели необходимо провести оценку эффективности методик, которая либо доказывают, либо опровергают эффективное использование СИМ в городской среде. Существует несколько экономических расчетов для оценки эффективности данных средств передвижения, которые позволят грамотно составлять маршрут для сокращения времени в дороге и экономии денежных средств, а также понять какие средства передвижения эффективней использовать на короткие и длинные расстояния [3]. Согласно выполненному анализу были классифицированы методики для оценки эффективности СИМ (рис. 1).



Рисунок 1 – Классификация методик оценки эффективности СИМ

Первой методикой для оценки является интервальная, подразумевающая сравнение затрат на передвижения на СИМ, легковом транспорте и пассажирском транспорте за 1 км.

### Теория / Расчет

Рассмотрим ситуацию при которой, ежедневный маршрут от учебы до дома составляет 7,8 км. При передвижение на пассажирском транспорте (рис. 2) до места назначения потребуется преодолеть 11 км, при стоимости проезда в городе Белгород на 2023 год 25 рублей. Из этого следует, что стоимость 1 км на пассажирском транспорте составляет 2 рубля 27 копеек.

Для оценки стоимости 1 км при передвижении на легковом транспортном средстве был выбран автомобиль Lada Vesta (самый продаваемый автомобиль в России в 2023 году) выпуска апрель 2021 года с пробегом 35 000 км [4]. Средний пробег автомобилей в России согласно статистическим данным составляет 17 500 км в год.

Для расчета себестоимости на 1км пробега проводится расчёт по статьям затрат.

Так общий расчёт стоимости 1 км пробега автомобиля Lada Vesta имеет вид:

$$K_{\text{авто.км}} = K_{\text{топ}} + K_{\text{доп}} + K_{\text{то}} + K_{\text{а}}, \quad (1)$$

где  $K_{\text{топ}}$  - стоимость топлива на 1 км пробега;

$K_{\text{доп}}$  - стоимость страховки, налога и аксессуаров на 1 км пробега;

$K_{\text{то}}$  - значение стоимости ТО на 1км пробега (интервала);

$K_{\text{а}}$  - амортизация на 1 км пробега

Среднее расход бензина в городской среде: 9,3/100 ( $K_1$ )

Стоимость марки топлива АИ-92 на декабрь 2023 года находится в пределах от 47,70 рублей ( $K_2$ ).

Страховка + налог + аксессуары = 3700+2650+0=6350 рублей ( $K_3$ )

Годовой пробег = 17500 км ( $K_4$ )

ТО + Ремонт + Уход = 12300 + 2500 + 1500 = 16300 рублей ( $K_5$ )

Межсервисный интервал = 15000 км ( $K_6$ )

Потеря в цене за год = 60000 рублей ( $K_7$ )

$$K_{\text{топ}} = (K_1 \cdot K_2) / 100 = (9,3 \cdot 47,70) / 100 = 4,44 \text{ руб./км};$$

$$K_{\text{доп}} = K_3 / K_4 = 6350 / 17500 = 0,36 \text{ руб./км};$$

$$K_{\text{то}} = K_5 / K_6 = 16300 / 15000 = 1,09 \text{ руб./км};$$

$$K_{\text{а}} = K_7 / K_4 = 60000 / 17500 = 3,43 \text{ руб./км};$$

$$K_{\text{авто.км}} = 4,44 + 0,36 + 1,09 + 3,43 = 9 \text{ рублей } 32 \text{ копеек}$$

Для расчета стоимости 1 км на средствах индивидуальной мобильности следует рассмотреть самые распространенные системы для их аренды и выбрать наиболее оптимальную.

В городе Белгороде прокат электротранспорта оказывает уже несколько сервисов. Самым распространенным является система Urent, с самым большим количеством парковок (127 парковок) [5]. А вот самой первой белгородскому пользователю была предложена аренда самокатов на платформе E – motion, но вот станций в данного приложения в городе всего 3, а именно в парке им. В. И. Ленина (возле сцены), в парке Победы и на Соборной площади [6]. И еще один сервис, это сервис самокатов Samoprosat. Станция проката в Белгороде всего одна, она расположена в парке им. В.И. Ленина (рядом с центральным входом), в связи с этим особенностью данного сервиса является возврат устройства в точку старта. Анализ стоимости проката в каждой из применяемых систем представлен в таблице 1.

Для краткосрочной аренды электросамоката в Белгороде лидирует и по выгодным ценам и по количеству парковок однозначно сервис Urent.

При эксплуатации СИМ по выбранному маршруту (рис. 3) будет затрачено на передвижение 6,9 км. Максимально допустимая скорость движения в городе Белгороде составляет 25км/ч. Следовательно, при скорости  $v = 25$  км/ч на преодоление расстояния  $S = 6,9$  км потребуется время  $t = 3,6$  минуты. Следовательно на преодоление расстояния 1 км = 52 секунды, т.е примерно 1 минута.

Таблица 1 - Тарифы на прокат электросамокатов в городе Белгороде.

Наименование сервиса	Тариф	Стоимость	Дополнительная опция
<b>Urent</b>	– Тариф «Поминутный» – Подписка	30 руб. за старт, далее 5 руб. минута 399 руб. в месяц	35 руб. за страховку здоровья и ответственности
<b>E – motion</b>	– Тариф «Поминутный»	Первая минута 30 руб; далее каждая минута 6 руб.	30 руб. страховка, промокоды
<b>Samoprocat</b>	Почасовая	Будни: 1 час - 250 руб; 2 часа 400руб. и т.д. Сутки - 1000руб. Выходные: 1 час - 300 руб; 2 часа - 500 руб. Сутки- 1200 руб.	

Так расчёт стоимости 1 км пробега СИМ с учетом стоимости 1 минуты движения  $k_{СИМ.мин} = 5$  рублей в рассматриваемом приложении Urent на момент анализа.

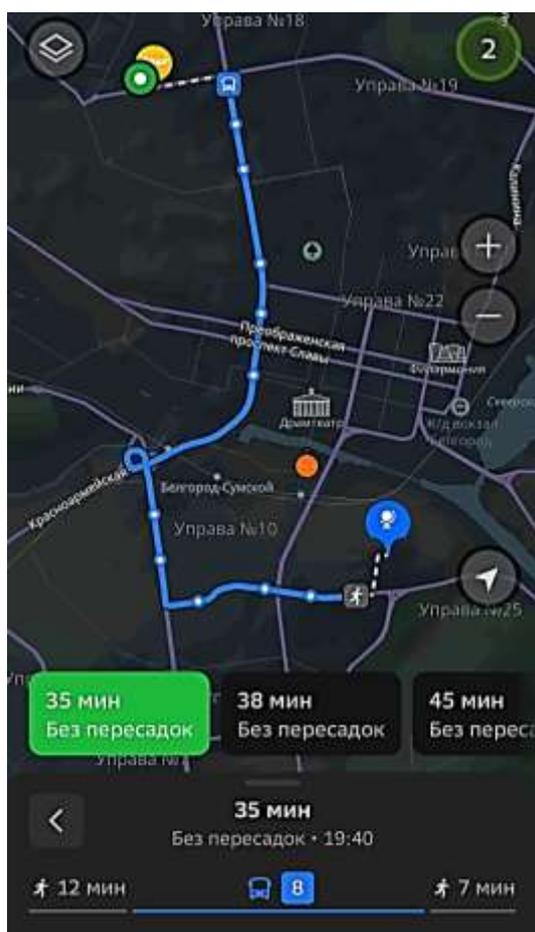


Рисунок 2 – Маршрут передвижения на пассажирском транспорте Учёба-Дом  
Источник: карты 2ГИС

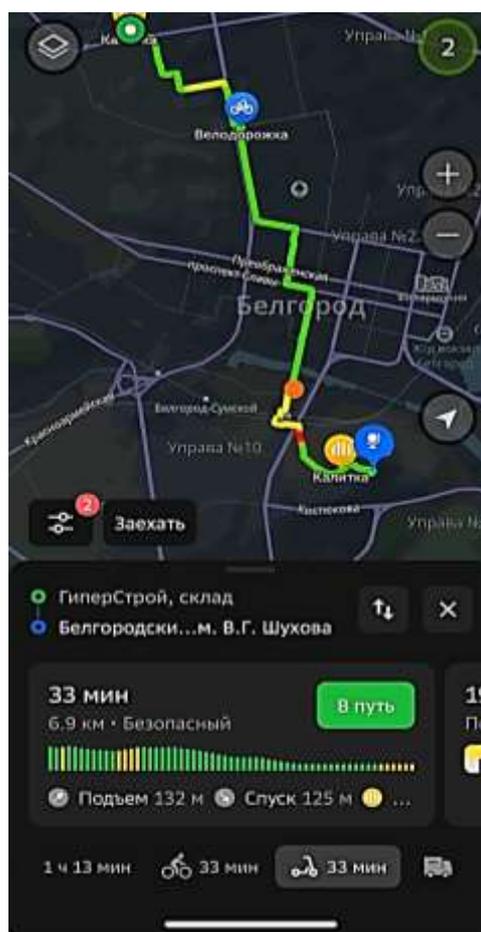


Рисунок 3 – Маршрут передвижения на СИМ Учёба-Дом  
Источник: карты 2ГИС

Таблица 2 – Интервальная оценка эффективности средств передвижения

Вид транспорта	Стоимость 1 км
Пассажирский транспорт	2 рубля 27 копеек
Легковой транспорт	9 рублей 32 копейки
СИМ	5 рублей

Из представленной таблицы видно, что в данном случае лидирует пассажирский вид транспорта. Однако, при рассмотрении временной оценки эффективности из которой мы получим временные затраты на движение по данному маршруту видно, что на передвижения на пассажирском транспорте мы затратим 3 минуты 20 секунд, на легковом транспорте средстве 2 минуты 50 секунд, а на СИМ за 52 секунды.

Таблица 3 – Временная оценка эффективности средств передвижения.

<i>Вид транспорта</i>	<i>Время, потраченное за 1 км</i>
Пассажирский транспорт	3 минуты 20 секунд
Легковой транспорт	2 минуты 50 секунд
СИМ	52 секунды

При персональной методики определения эффективности СИМ рассматривается стоимость средств передвижения. Передвижение на пассажирском виде транспорта, будем оценивать из расчета количества рабочих дней в 2023 году и затрат на передвижение в одну и другую сторону. В 2023 году 247 рабочих дней, годовые затраты на передвижения составят 12350 рублей.

При оценки легкового транспорта был выбран автомобиль Lada Vesta 2021 года с пробегом 108 тыс. км стоимостью 740 тыс. рублей. Автомобиль с данным пробегом в одной семье в среднем прослужит 4 года, отсюда годовые затраты составят 185 тыс. рублей [7].

Популярная модель электросамоката Kigoo M2 на момент анализа имела стоимость 29900 рублей, эксплуатация данного средства передвижения составит в среднем 3 года, отсюда персональная оценка эффективности составит 9966 рублей, что наглядно отражено в таблице 4.

Таблица 4 – Персональная оценка эффективности средств передвижения

<i>Вид транспорта</i>	<i>Стоимость средств передвижения</i>
Пассажирский транспорт	12350 рублей
Легковой транспорт	185000 рублей
СИМ	9966 рублей

Результаты анализа основных видов транспорта в городской транспортной системе, по представленным и описанным ранее методикам (рис. 1), отражены на рисунке 4.

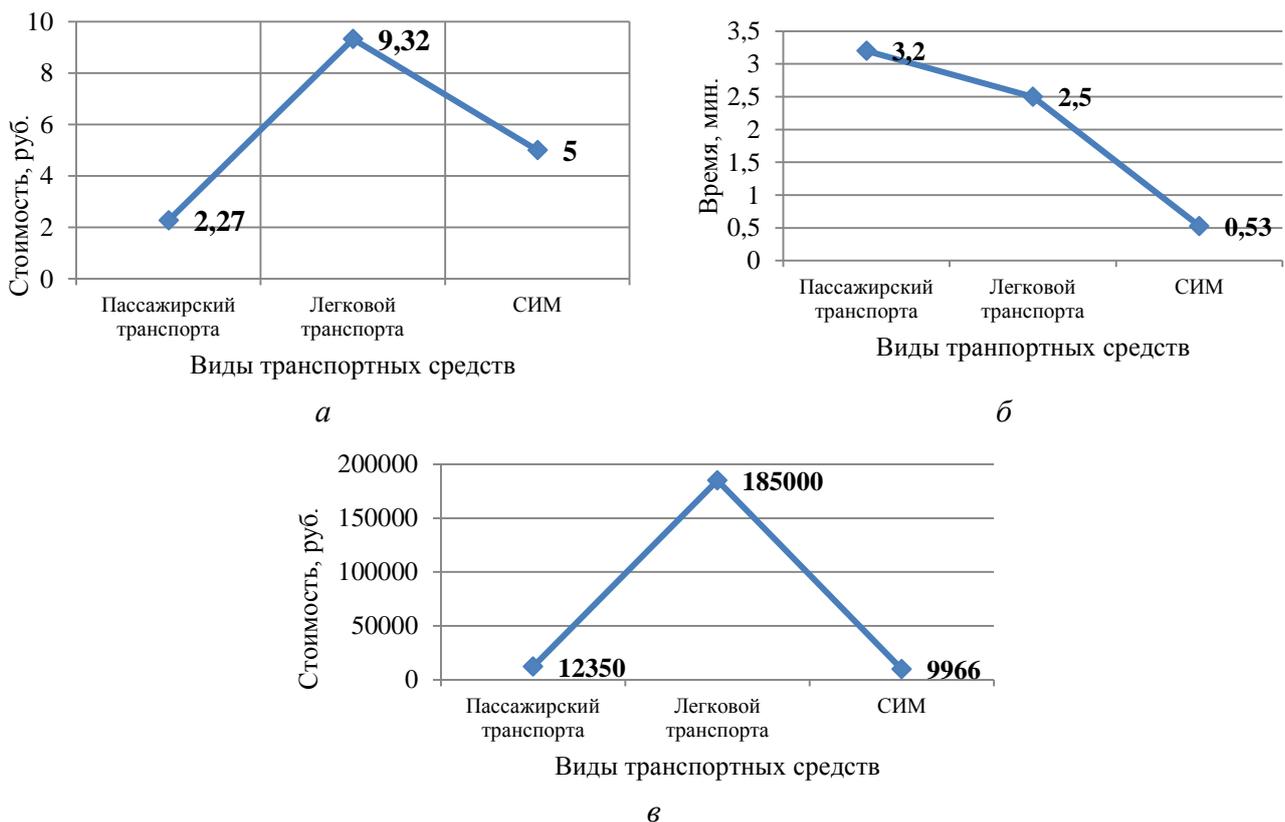


Рисунок 4 – Методики оценки эффективности СИМ в городской среде:  
 а - интервальная методика; б - временная методика; в - персональная методика

### **Результаты и обсуждения**

При рассмотрении результатов полученных методик можно сделать вывод что, использование средств индивидуальной мобильности на улично-дорожной сети является эффективным, так как движение можно осуществлять с минимальными временными и денежными затратами [8]. Существует еще одна характеристика позволяющая провести мониторинг эффективности СИМ - время задержек [9]. В течение дня дорожная ситуация постоянно изменяется, особенно заметны изменения в утренний час-пик и вечерний, а также из-за ухудшения погодных условий повышается уровень заторов на дорогах городов, возникновение которых отмечается чаще всего на перекрестках со светофорным регулированием либо пешеходными переходами. Из-за частой смены уровня загруженности дорог провести четкий анализ по данному показателю на данный момент времени не представляется возможным [10-15].

### **Вывод**

Рассмотрев разнообразие систем по аренде средств индивидуальной мобильности в городе Белгороде, было установлено, что по стоимости аренды, числу парковок, и площади использования лидирует сервис Urent, на основе которого и производился мониторинг. А также проведена оценка эффективности разработанных методики, которые доказывают оправданность проведения выполненных наблюдений и измерений и подтверждает эффективное использование СИМ, как на примере разработанных маршрутов, так и общей выгоды на расстояние 6,9 км по показателю затраченного времени на поездку и стоимости использования данных средств при их покупке. Благодаря данным значениям появилась возможность грамотно составлять маршрут для сокращения времени в дороге и экономии денежных средств, что будет очень актуально для современного ритма жизни населения

Безусловно, внедрение СИМ в городские транспортные системы задает большое количество вопросов, в первую очередь связанных с безопасностью, что требует проведения исследований, направленных на развитие данного направления, что и будет активно развито в дальнейших исследованиях [17-19]. Благодаря данным значениям появилась возможность грамотно составлять маршрут для сокращения времени в дороге и экономии денежных средств, что будет очень актуально для современного ритма жизни населения.

### **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. Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации: Федеральный закон от 6 октября 2003 г. №131-ФЗ (ред. 14.07.2022).
2. Сильянов В.В., Домке Э.Р. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц: учебник для студ. высш. учеб. заведений. М.: Академия. 2-е изд., стер., 2008. 352 с.
3. Шелмаков С.В., Гальшев А.Б. Обоснование необходимости внесения новых дорожных знаков по организации велосипедного движения в правила дорожного движения Российской Федерации // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2016. №4(10). 2 с.
4. Шевцова А.Г., Юнг А.А. Оценка аварийности с участием средств индивидуальной мобильности с учетом сезонности // Научно-технологические инновации (XXIV научные чтения): Сборник докладов Международной научно-практической конференции. Белгород, 2021. С. 238-241.
5. Юнг А.А. К вопросу о безопасности движения средств индивидуальной мобильности // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова: Материалы конференции. Белгород, 2021. С. 2411-2417.
6. Юнг А.А., Шевцова А.Г. Оценка аварийности средств индивидуальной мобильности в различных условиях движения // Современная наука. 2021. №2. С. 36
7. Илькевич С.В. Источники формирования конкурентных преимуществ сервисов проката электросамокатов // Стратегические решения и риск-менеджмент. 2019. №3. С. 239-250.
8. Юнг А.А., Шевцова А.Г. Оценка аварийности средств индивидуальной мобильности в различных условиях движения // Современная наука. 2021. №2. С. 31-36.
9. Сумин В.И., Рябинин В.В., Дыбова М.А., Колыхалин В.М., Ильницкий А.В. Методы определения

целевой функции организационной системы // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. С.1-4.

10. 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

11. Боровской А.Е., Шевцова А.Г. Максимальная пропускная способность полосы при поворотном маневре // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. №2. С. 188-191.

12. Новиков А.Н., Новиков И.А., Шевцова А.Г. Современная оценка проблемы безопасности дорожного движения. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. 108 с.

13. Боровской А.Е., Шевцова А.Г. Влияние времени реакции водителя на пропускную способность автомобильной дороги // Вестник развития науки и образования. 2014. №2. С. 24-30.

14. 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.

15. Glagolev S., Novikov A., Novikov I., Shevtsova A. Prospects for reducing accidents on the roads of the Russian Federation using the scientific and methodological approach // MATEC Web of Conferences. 334. 01038. 2021. DOI: 10.1051/mateconf/202133401038.

16. Novikov A., Shevtsova A., and Vasilieva V. Development of approach to reduce number of accidents caused by drivers // Transportation Research Procedia. №50. 2020. 491-498. DOI: 10.1016/j.trpro.2020.10.090.

17. Донченко В.В., Купавцев В.А. Анализ основных классификационных систем средств индивидуальной мобильности // Вестник СибАДИ. 2021. №3. Т. 18. С. 252-263.

18. Петров К.А., Сидоров В.В. Вопросы, связанные с отнесением гироскутеров, сигвеев, моноциклов и электросамокатов к категории транспортных средств // Актуальные проблемы расследования преступлений: междисциплинарный подход: сборник трудов конференции. Калининград. 2019. С. 89-93.

19. Юнг А.А., Шевцова А.Г., Васильева В.В. Оценка влияния СИМ на показатели транспортного потока при совместном движении // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №1-2(80). С. 43-49. DOI 10.33979/2073-7432-2023-2(80)-1-43-49.

**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., доцент, профессор кафедры «Эксплуатация и организация движения автотранспорта»

E-mail: anastasiya-shevcova@mail.ru

**Васильева Виктория Владимировна**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

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

К.т.н., доцент, доцент кафедры «Сервис и ремонт машин»

E-mail: vivaorel57@gmail.com

---

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

**EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF USING SIM  
IN AN URBAN ENVIRONMENT**

***Abstract.** Over the past few years, the trend of increasing personal mobility equipment (SIM) in the road space has increased the number of road accidents involving these vehicles, which naturally poses a threat to the lives of the population. The work evaluates the effectiveness of using SIM in an urban environment with constantly increasing traffic and rapidly developing infrastructure. The main indicators are considered without taking into account, which it is impossible to ensure the full and effective functioning of the transport sector.*

***Keywords:** infrastructure, assessment, efficiency, traffic, means of individual mobility*

**BIBLIOGRAPHY**

1. Ob obshchikh printsipakh organizatsii mestnogo samoupravleniya v Rossiyskoy Federatsii: Federal'nyy zakon ot 6 oktyabrya 2003 g. №131-FZ (red. 14.07.2022).
2. Sil'yanov V.V., Domke E.R. Transportno-ekspluatatsionnye kachestva avtomobil'nykh dorog i gorodskikh ulits: uchebnik dlya stud. vyssh. ucheb. zavedeniy. M.: Akademiya. 2-e izd., ster., 2008. 352 s.
3. Shelmakov S.V., Galyshev A.B. Obosnovanie neobkhodimosti vneseniya novykh dorozhnykh znakov po organizatsii velosipednogo dvizheniya v pravila dorozhnogo dvizheniya Rossiyskoy Federatsii // *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*. 2016. №4(10). 2 s.
4. Shevtsova A.G., YUng A.A. Otsenka avariynosti s uchastiem sredstv individual'noy mobil'nosti s uchetom sezonnosti // *Naukoemkie tekhnologii i innovatsii (XXIV nauchnye chteniya): Sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Belgorod. 2021. S. 238-241.
5. YUng A.A. K voprosu o bezopasnosti dvizheniya sredstv individual'noy mobil'nosti // *Mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya molodykh uchenykh BGTU im. V.G. Shukhova: Materialy konferentsii*. Belgorod. 2021. S. 2411-2417.
6. YUng A.A., Shevtsova A.G. Otsenka avariynosti sredstv individual'noy mobil'nosti v razlichnykh usloviyakh dvizheniya // *Sovremennaya nauka*. 2021. №2. S. 36
7. Il'kevich S.V. Istochniki formirovaniya konkurentnykh preimushchestv servisov prokata elektrosamokatov // *Strategicheskie resheniya i risk-menedzhment*. 2019. №3. S. 239-250.
8. YUng A.A., Shevtsova A.G. Otsenka avariynosti sredstv individual'noy mobil'nosti v razlichnykh usloviyakh dvizheniya // *Sovremennaya nauka*. 2021. №2. S. 31-36.
9. Sumin V.I., Ryabinin V.V., Dybova M.A., Kolykhalin V.M., Il'nitskiy A.V. Metody opredeleniya tselevoyy funktsii organizatsionnoy sistemym // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2011. S.1-4.
10. Mishina Yu.V. Problemy opredeleniya administrativno-pravovogo statusa lits, ispol'zuyushchikh dlya peredvizheniya elektrosamokaty, segvei i inye sovremennye tekhnichesknie sredstva // *Problemy ekonomiki i yuridicheskoy praktiki*. 2020. №4. S. 321-325
11. Borovskoy A.E., Shevtsova A.G. Maksimal'naya propusknaya sposobnost' polosy pri povorotnom manevre // *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova*. 2013. №2. S. 188-191.
12. Novikov A.N., Novikov I.A., Shevtsova A.G. *Sovremennaya otsenka problemy bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya*. - Belgorod: Belgorodskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskii universitet im. V.G. Shukhova, 2021. 108 s.
13. Borovskoy A.E., Shevtsova A.G. Vliyanie vremeni reaktsii voditelya na propusknuyu sposobnost' avtomobil'noy dorogi // *Vestnik razvitiya nauki i obrazovaniya*. 2014. №2. S. 24-30.
14. 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.
15. Glagolev S., Novikov A., Novikov I., Shevtsova A. Prospects for reducing accidents on the roads of the Russian Federation using the scientific and methodological approach // *MATEC Web of Conferences*. 334. 01038. 2021. DOI: 10.1051/mateconf/202133401038.
16. Novikov A., Shevtsova A., and Vasilieva V. Development of approach to reduce number of accidents caused by drivers // *Transportation Research Procedia*. №50. 2020. 491-498. DOI: 10.1016/j.trpro.2020.10.090.
17. Donchenko V.V., Kupavtsev V.A. Analiz osnovnykh klassifikatsionnykh sistem sredstv individual'noy mobil'nosti // *Vestnik SibADI*. 2021. №3. T. 18. S. 252-263.
18. Petrov K.A., Sidorov V.V. Voprosy, svyazannye 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.
19. YUng A.A., Shevtsova A.G., Vasil'eva V.V. Otsenka vliyaniya SIM na pokazateli transportnogo potoka pri sovmestnom dvizhenii // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2023. №1-2(80). S. 43-49. DOI 10.33979/2073-7432-2023-2(80)-1-43-49.

**Jung Anastasia Alekseevna**  
Belgorod State Technological University  
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46  
Postgraduate student  
E-mail: yungnastena33@gmail.com

**Vasilyeva Victoria Vladimirovna**  
Orel State University  
Address: 302026, Russia, Orel, Komsomolskaya str., 95  
Candidate of technical sciences  
E-mail: vivaorel57@gmail.com

**Shevtsova Anastasia Gennadievna**  
Belgorod State Technological University  
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46  
Doctor of Technical Sciences  
E-mail: anastasiya-shevcova@mail.ru

Научная статья

УДК 629.33.05, 621.85

doi:10.33979/2073-7432-2024-1-1(84)-94-101

А.С. ИВАНОВ, Н.И. СЕРГЕЕВ, В.В. ЛЯНДЕНБУРСКИЙ

## ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ГИДРОСИСТЕМ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

***Аннотация.** При эксплуатации рабочих машин это возможно осуществить путем программного обеспечения для получения максимально точной информации о техническом состоянии гидроприводов. Что обеспечит возможность управления их техническим состоянием при помощи методов прогнозирования и своевременного устранения отказов и неисправностей.*

*Для сложных систем, которыми являются современные гидравлические приводы, очень важна разработка технологий контроля состояния рабочих элементов гидропривода и выявления неисправностей агрегатов гидросистем, дающие возможность повышения технологической дисциплины при увеличении работоспособности гидроприводов.*

***Ключевые слова:** гидравлические приводы, программа для диагностирования гидросистемы, метод переходных процессов, модель замкнутого контура*

### **Введение**

Гидросистемы являются неотъемлемой частью многих технических объектов, в том числе и транспортно-технологических машин. Его применяют для передачи энергии рабочим органам в качестве исполнительных систем управления машинами и технологическим оборудованием.

Для увеличения эффективности сложных и дорогостоящих технических систем, к которым относятся гидравлические приводы, применяемые в различных отраслях экономики государства необходимо не только совершенствовать критерии назначения, но и обеспечить увеличение безотказности, срока службы, возможности реализации ремонта, а также комплексных показателей надежности данных систем [1, 8-10, 13, 14].

При эксплуатации рабочих машин это возможно осуществить путем расширения номенклатуры способов и устройств технического диагностирования для получения максимально точной информации о техническом состоянии гидроприводов. Что обеспечит возможность управления их техническим состоянием при помощи методов прогнозирования и своевременного устранения отказов и неисправностей [2-4, 6, 11, 21].

Для сложных систем, которыми являются современные гидравлические приводы, очень важна разработка технологий контроля состояния рабочих элементов гидропривода и выявления неисправностей агрегатов гидросистем, дающие возможность повышения технологической дисциплины при увеличении работоспособности гидроприводов [3, 5, 15, 19, 20].

Применяемые способы и средства должны обеспечивать низкую погрешность диагностирования и в то же время сокращением продолжительности выполнения операций измерения количественных значений параметров технического состояния с последующей обработкой и анализом результатов [12, 16].

### **Материалы и методы**

Одним из методов контроля технического состояния гидроагрегатов является метод переходных процессов, основанный на регистрации и анализе осциллограмм изменения давления в контрольных точках гидропривода во время переходных процессов. Сравнив полученную осциллограмму с эталонной, или измеренные показатели с нормативами можно оценить техническое состояние элементов гидросистемы.

Повысить эффективность этого метода можно с помощью электронного прибора оснащенного накладным датчиком для фиксации изменения давления в полостях гидросистемы.

Среди большого разнообразия диагностических приборов высокой технологичностью обладают приборы, разработанные на базе электронных плат Arduino.

Использование аналоговых датчиков для регистрации давления приводит к повышению сложности, к увеличению стоимости приборов или снижению точности измерений.

Предлагаемое устройство состоит из быстросъемного корпуса с размещенным в нем высокочувствительным резисторным датчиком силы [17, 21]. Корпус накладного датчика закрепляется на трубопроводе высокого давления, соединяющего распределитель и рабочий цилиндр гидросистемы.

### Теория

Наиболее рациональным путем разработки приборов для контроля технического состояния гидроагрегатов является цифровизация процесса диагностирования с помощью многочисленных модулей микропроцессорных плат «Arduino», позволяющая на стадии измерения данных рассчитывать производные контролируемых параметров.

Первичными компонентами диагностического прибора являются разнообразные тензодатчики давления, сигнал с которых рекомендуется передавать через микроконтроллер [17].

Наиболее применимой является плата Ардуино Мега 2560, которая обладает большим объемом оперативной памяти.

Процесс считывания данных с датчика нагрузки *считываем из EEPROM с помощью функции EEPROM.get()* (рис. 1).

В функции loop проверяем поступают ли какие-либо данные от датчика с помощью функции LoadCell.update() на экране ЖК дисплея (рис. 2).

```
1 LoadCell.begin();
2 EEPROM.get(calVal_eepromAdress, calibrationValue);
```

Рисунок 1 - Строка загрузки

```
1 if (LoadCell.update()) newDataReady = true;
2 if (newDataReady)
3 {
4     if (millis() > t + serialPrintInterval) {
5         float i = LoadCell.getData();
6         lcd.setCursor(0, 0);
7         lcd.print("set wei:");
8         lcd.setCursor(9, 0);
9         lcd.print(buttonPushCounter);
10        lcd.setCursor(14, 0);
11        lcd.print("GM");
12        lcd.setCursor(0, 1);
13        lcd.print("weight :");
14        lcd.setCursor(9, 1);
15        lcd.print(i);
16        lcd.setCursor(14, 1);
17        lcd.print("GM");
```

Рисунок 2 - Строки проверки истинности значений

Полученные результаты показывают, что ПО Ардуино готово к работе и установке на рабочее оборудование транспортного средства.

Полученные результаты показывают нам, что при использовании Ардуино важно учитывать не только механические составляющие устройства, но и качества прописанного кода. Качество прописанного кода напрямую влияет на подлинность полученных данных, перед вводом в эксплуатацию первоочередно необходимо откалибровать прибор, и удостовериться в истинности полученных данных, в том числе для исключения погрешностей при диагностировании.

В заключение формируется рабочий вид дисплея: предварительно дисплей очищается от информации, выведенной на него ранее, затем заносятся поясняющие надписи и сетка графика со шкалами (рис. 3).

В функции Setup скетча инициализируется работа с тензодатчиком (davlenie.begin(DT, SCK)), подбирается и устанавливается калибровочный коэффициент под конкретный датчик, необходимый для вывода на экран реальных значений измеряемого давления (рис. 4).

Визуализация изменения давления представлена на графике, что наглядно показывает процесс повышения или снижения давления в полостях гидросистемы. При необходимости можно запрограммировать вывод на монитор эталонной осциллограммы давления, соответствующей номинальному состоянию диагностируемого гидроагрегата для сравнения ее с реальной осциллограммой.

```

#include <UTFTGLUE.h> // Подключение библиотеки UTFTGLUE
extern uint8_t SmallFont[]; // Подключение шрифта Small
extern uint8_t BigFont[]; // Подключение шрифта Big
UTFTGLUE myGLCD(0,A2,A1,A3,A4,A0); // Создание объекта myGLCD
#include "HX711.h" // Подключение библиотеки HX711
HX711 davlenie; // Создание объекта davlenie
#define DT 18 // Указание контакта, к которому подключен контакт DT HX711
#define SCK 19 // Указание контакта, к которому подключен контакт SCK HX711
float calibration_factor = 3000; // Создание калибровочного коэффициента
float p; float p1; float psr; // Переменная для измерений давления
long t; long t1; // Переменная для измерений времени
int mx; float my; int iii; boolean start = true; int yy; int ya;
//=====SETUP=====
void setup() {
mx = 2; my = 0.5; iii = 1; // Установка масштаба осей графика
p1 = 0; psr = 0; t1 = 0; yy = 50; ya=20;
Serial.begin(9600); // Может убрать до нее работало
davlenie.begin(DT, SCK); // Инициализация работы с датчиком
davlenie.set_scale(); // Измерение значения без калибровки
davlenie.tare(); // Сброс значения веса на датчике в 0
davlenie.set_scale(calibration_factor); // Установка калибровочного коэффициента
myGLCD.InitLCD(); // Инициализация монитора
myGLCD.clrScr(); // Очистка монитора
myGLCD.setFont(SmallFont); // Установка шрифта Small
myGLCD.print("VIVOD DANNIH", CENTER, 10); // Вывод на монитор
myGLCD.print("mX=", 245, 30);
myGLCD.printNumI(mx, 263, 30);
myGLCD.print("mY=", 245, 45);
myGLCD.printNumI(my, 263, 45);
myGLCD.setColor(255, 0, 0); // Установка цвета сетки, ниже создание сетки
for (int ii=0; ii<8; ii++) {myGLCD.drawLine(ya,70+ii*ya,300,70+ii*ya);}
for (int ii=0; ii<15; ii++){myGLCD.drawLine(ya+ii*ya,70,ya+ii*ya,210);}
myGLCD.setColor(255, 255, 0); // Установка цвета шрифта, ввод шкал осей
for (int ii=0; ii<8; ii++){myGLCD.printNumI(((7-ii)*my*yy, 0, 70+ii*ya);}
for (int ii=0; ii<14; ii++)
{myGLCD.printNumI(round((ii)*ya/mx), ya+ii*ya, 220); };
//=====LOOP=====
void loop() { if(start == true){
if (p >= 2) (p = 0); // Обнуление отрицательных значений
t = round(millis()*mx/1000); // Текущее значение времени
p = davlenie.get_units()*my; // Текущее значение давления
psr = p;
myGLCD.setColor(255, 255, 0); // Установка цвета шрифта Окончание таблицы 1
myGLCD.print("P, kg=", 20, 30); // Вывод на монитор текущих данных
myGLCD.printNumF(p*-1.3, 65, 30);
myGLCD.print("t, c =", 20, 45);
myGLCD.printNumI(t/mx,65, 45); // myGLCD.printNumI(t/mx,85, 45);
myGLCD.drawLine((t1+20), round(p1)+210,(t+20), round(p)+210); // Вывод на монитор
графика
p1 = p; t1 = t; // Сохранение предыдущих значений переменных
for (int ii = 0; ii <= 10; ii++) { // Усреднение показаний датчика за 10 измерений
psr = psr + davlenie.get_units(), 10; } // Суммируем значения 10 замеров
psr = psr / 10; // Усредняем показания, разделив сумму значений на 10
myGLCD.print("Psr kg=", 120, 30); // Вывод на монитор средних значений
myGLCD.printNumF(psr*-1.3, 180, 30);
myGLCD.print("dP kg/c=", 120, 45);
myGLCD.printNumF(psr*-1/10, 5, 180, 45);} iii++;}
if (iii > round((12)*20/mx)) (start = false); } // Окончание скетча

```

Рисунок 3 - Листинг скетча визуализации показаний накладного датчика давления

Разработанный скетч позволяет в функции Loop скетча организовано выполнять действия связанных через период времени и масштаба оси X графика (mx). Текущее время определяется с каждым в момент определения давления.

### Результаты и обсуждение

Произведено математическое обоснование совершенствования способа диагностирования гидросистемы.

Разработано приложение «Модель замкнутого контура гидросистемы» (рисунок 5), позволяющее визуализировать процесс изменения давления в полостях замкнутого контура для различного технического состояния агрегатов гидросистемы.

Для реализации подготовленной математической модели замкнутых контуров гидросистемы разработана программа «Модель замкнутого контура гидросистемы рабочего оборудования машины».

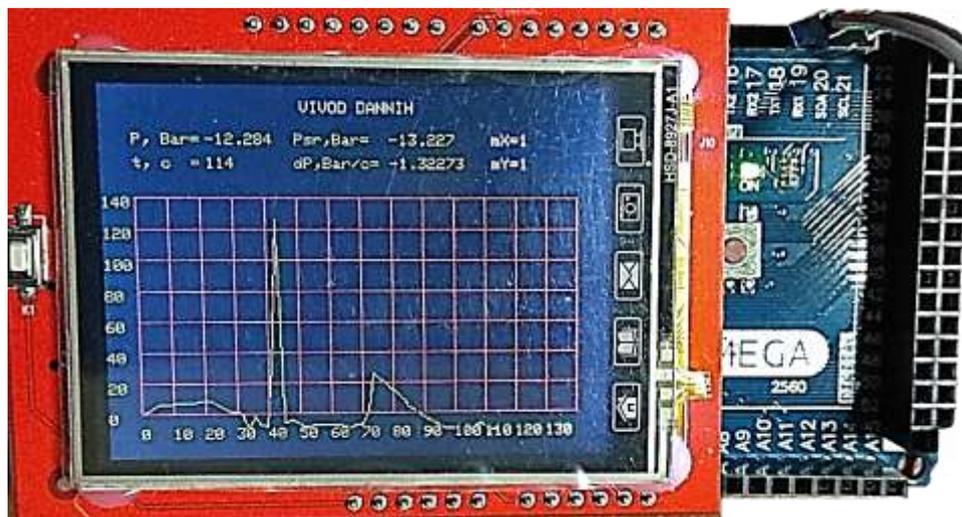


Рисунок 4 - Монитор для вывода показаний давления с тензодатчика

В главном окне программы у исследователя, использующего данную программу, существует возможность ввода исходных параметров для расчета, указанных в описании формул модели (рис. 6). Все исходные данные для расчета сохраняются в базе данных.

Расчёты изменения давления в замкнутых полостях гидроцилиндра производятся при различных значениях утечек рабочей жидкости, которые оказывают влияние на постоянные времени замкнутых полостей. Для лучшего восприятия величин утечек их значения в «м<sup>3</sup>/с» представлены в размерности «см<sup>3</sup>/мин».



Рисунок 5 – Окно программы «Модель замкнутого контура гидросистемы рабочего оборудования машины»

При нажатии на кнопку «Расчет» запускается процесс вычисления давления в замкнутых контурах высокого давления при выдвигении 6 и втягивании 7 при штоке гидроцилиндра.

Исследователь может задать интересующий его интервал времени в поле ввода 3, по умолчанию интервал принят равным 60 с.

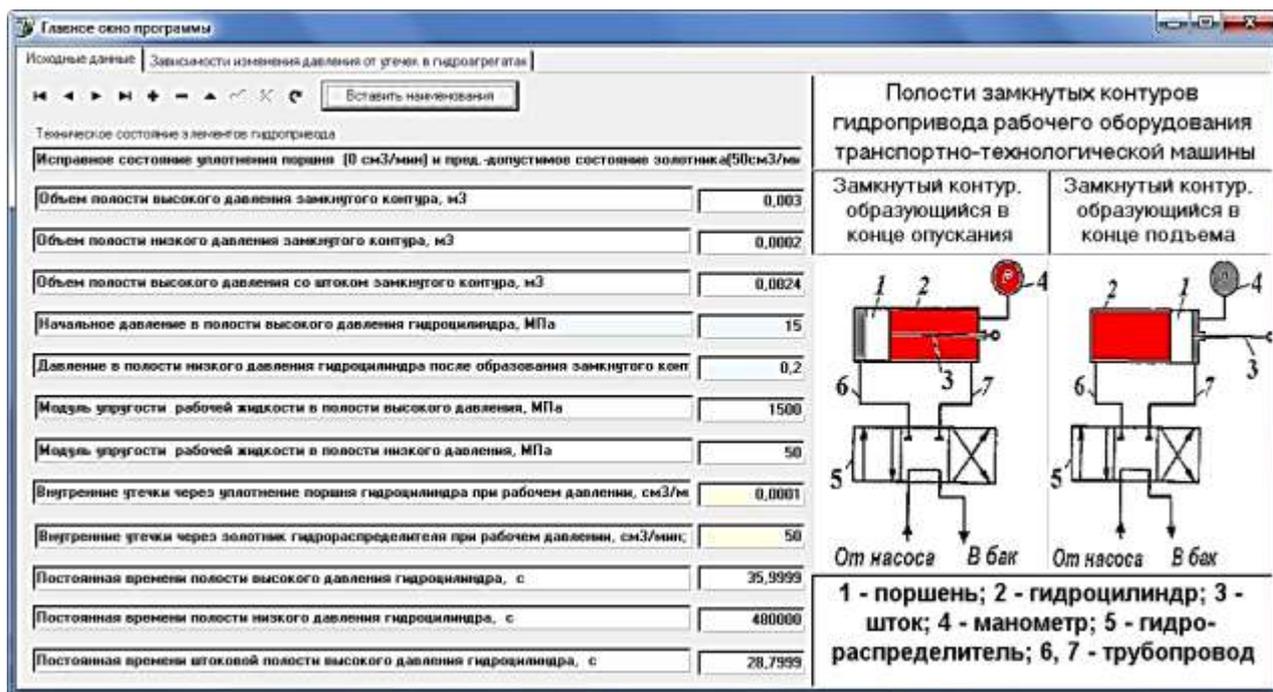


Рисунок 6 - Главное окно программы «Модель замкнутого контура гидросистемы рабочего оборудования машины». Вкладка – «Исходные данные»

Результаты расчета представлены в виде чисел 4 и в виде графиков 5 изменения давления. Графическое представление изменения давления может быть сопоставлено со снятой прибором осциллограммой изменения давления на основании чего может быть сделан диагноз диагностируемых агрегатов гидросистемы.

Для исследования влияния утечек на процесс изменения давления на главном окне существует возможность оперативного изменения величин утечек, как путем ввода с клавиатуры, так и с помощью кнопок быстрой настройки (1, 2), позволяющих, при нажатии на кнопку, увеличивать или уменьшать утечки в 10 раз.

Увеличение давления в замкнутой полости низкого давления, связанной с бесштоковой полостью гидроцилиндра, не значительно (1,06 раза) отличается от повышения давления в замкнутой полости низкого давления связанной с штоковой полостью гидроцилиндра. Это позволяет сделать вывод о том, что возможно измерять данный показатель в любой из полостей.

Таким образом, измерение давления в полостях цилиндра можно осуществлять с помощью одного накладного датчика, закрепленного на трубопроводе связанном со штоковой полостью в двух крайних положениях поршня после срабатывания автомата золотника.

Для измерения интенсивности падения давления в штоковой полости гидроцилиндра следует направить поток рабочей жидкости в эту полость. После достижения полного втягивания штока поршня давление резко возрастет, что приведет к срабатыванию автомата золотника, переводу золотника в нейтральное положение и образованию замкнутой полости.

После этого нужно направить поток жидкости в бесштоковую полость гидроцилиндра. После достижения поршнем крайнего положения оценить интенсивность повышения давления в штоковой полости из-за возможных утечек через уплотнение поршня гидроцилиндра, ранее установленным накладным датчиком.

Такой процесс измерения изменений давления в полостях гидроцилиндра, исключает необходимость одновременного подключения двух накладных датчика к трубопроводам соединенным гидроцилиндром.

С использованием подготовленной программы были получены зависимости измене-

ния давления в полостях высокого и низкого давления гидросистемы, как в штоковой полости гидроцилиндра, так и – в бесштоковой (рис. 7, 8) при заданных значениях внутренних утечек в гидроцилиндре и золотнике гидрораспределителя.

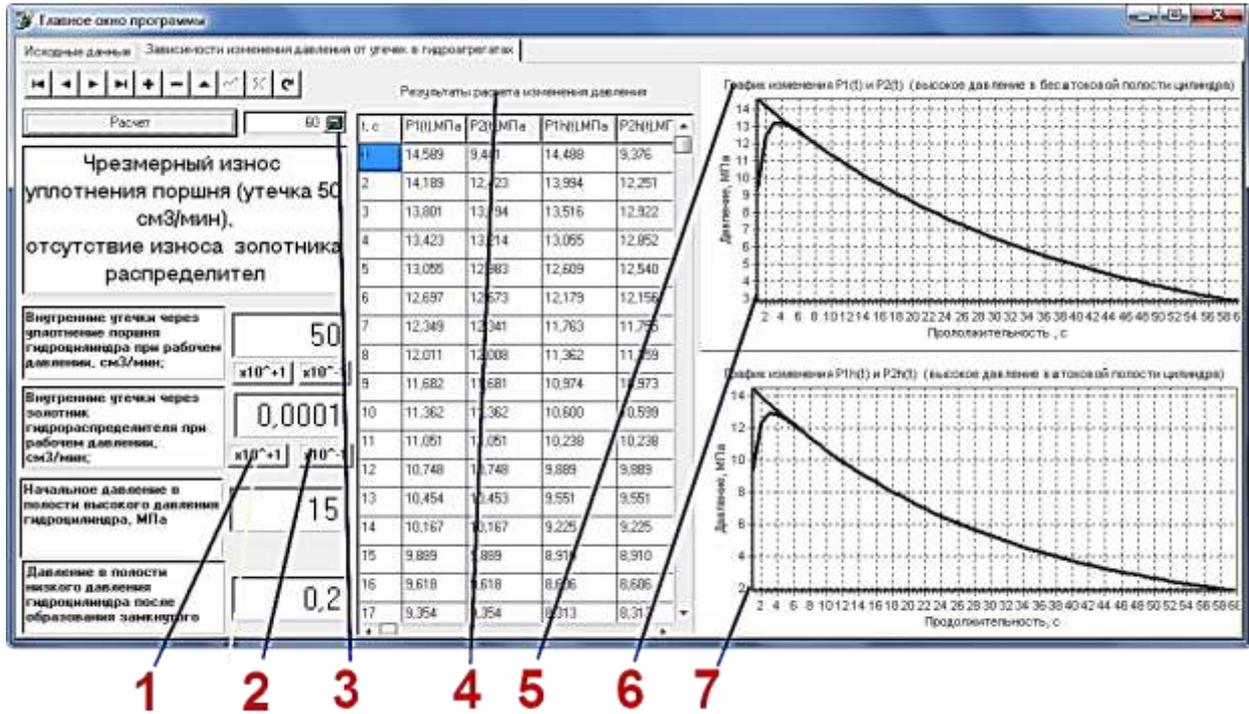


Рисунок 7 - Главное окно программы «Модель замкнутого контура гидросистемы рабочего оборудования машины». Вкладка – «Зависимости изменения давления от утечек в гидроагрегатах»

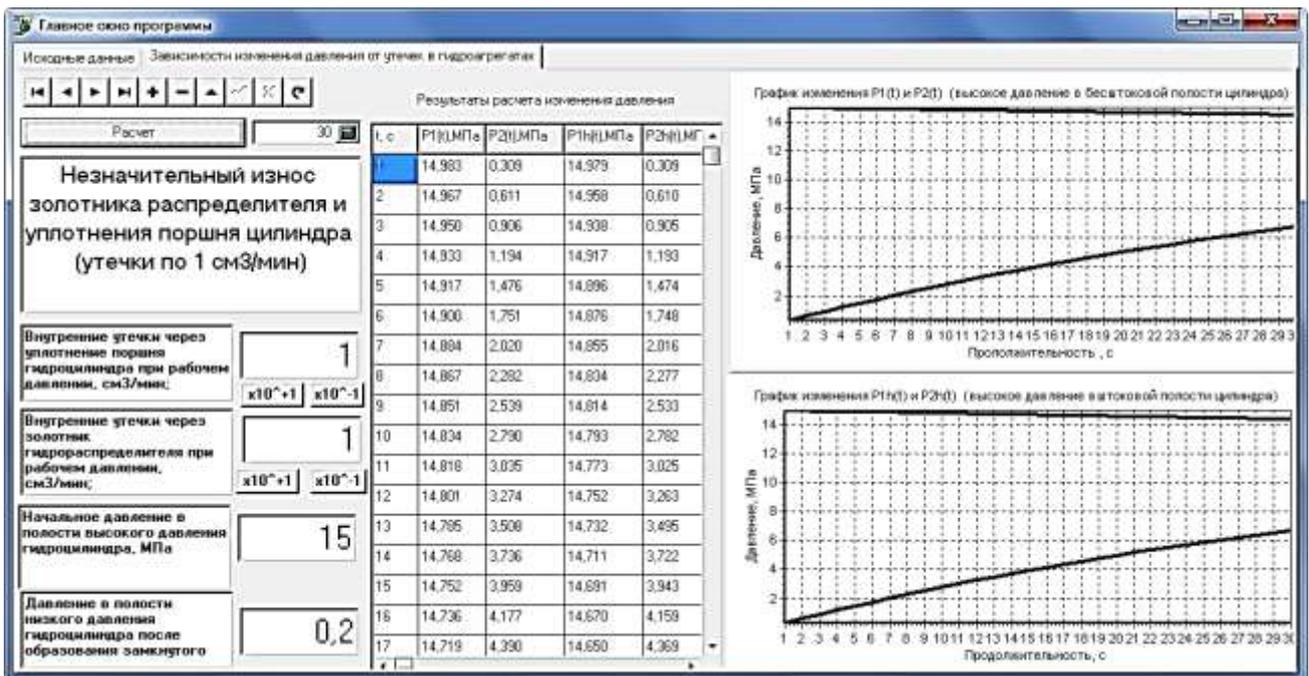


Рисунок 8 - Результаты расчета изменения давления в полостях замкнутого контура гидросистемы при внутренних утечках в гидроцилиндре равных 1 см<sup>3</sup>/мин и при внутренних утечках в золотнике гидрораспределителя равных 1 см<sup>3</sup>/мин

### Выводы

Анализируя результаты расчетов, можно сделать вывод, что утечки в агрегатах различного влияния на изменение давления в полостях высокого и низкого давлений гидросистемы.

Поэтому для оценки технического состояния гидроцилиндра и гидрораспределителя следует зафиксировать на мониторе прибора процесс изменения давления в указанных полостях и сравнить с зависимостями, полученными с помощью программы «Модель замкнутого контура».

Дополнительно к оценке износа сопряжений гидроцилиндра и золотника гидрораспределителя с помощью разработанного прибора можно оценить давление срабатывания клапана автомата золотника и давление вработывания предохранительного клапана гидрораспределителя.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Makarova I., Shubenkova K., Mukhametdinov E. Selection of the Method to Predict Vehicle Operation Reliability // Lecture Notes in Networks and Systems. 2020. Vol. 117. P. 316-328.
2. Абрамов Е.Н., Колесниченко К.А., Маслов В.Т. Элементы гидропривода: Справочник. Киев: Техника, 1977. 320 с.
3. Алексеева Т.В., Бабанская В.Д., Башта Т.М. Техническая диагностика гидравлических приводов. Москва: Машиностроение. 1989. 264 с.
4. Диагностика и техническое обслуживание машин: учебник для студентов высш. учеб. заведений / А.Д. Ананьин, В.М. Михлин, И.И. Габитов и др. Москва: Академия, 2008. 432 с.
5. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя / Под ред. И.Н. Житковой. В 3 т. Т.1. Изд.9-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2006. 927 с.
6. Бельских В.И. Справочник по техническому обслуживанию и диагностированию тракторов. М.: Россельхозиздат, 1979. 416 с.
7. Бондаренко Е.В., Фаскиев Р.С. Основы проектирования и эксплуатации технологического оборудования: Учебник. М.: ИЦ «Академия», 2011. 304 с.
8. ГОСТ 18464-96. Гидроприводы объемные. Гидроцилиндры. Правила приемки и методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2006. С. 12.
9. Иванов А.С., Лянденбургский В.В., Иванов В.А. Технологические процессы технического обслуживания и ремонта. Пенза: РИО ПГАУ, 2018. 170 с
10. Иванов А.С. Основы теории надежности и диагностика. Учебное пособие. Пенза: РИО ПГСХА, 2011. 308 с.
11. Иноземцев А.Н., Трушин Н.Н. Гидравлика. Основы проектирования и расчета объемного гидравлического привода: учеб. пособие. Тула: ТулГУ, 2009. 224 с.
12. Кузнецов Е.С. Техническая эксплуатация автомобилей: учебник / Под ред. Е.С. Кузнецова. Москва: Наука, 2001. 535 с.
13. Лянденбургский В.В., Рыбачков А.В., Иванов А.С. Основы проектирования и эксплуатации технологического оборудования. Пенза: ПГУАС, 2012. 200 с.
14. Лянденбургский В.В., Родионов Ю.В., Долганов И.Е. Макетный образец встроенной системы диагностирования трансмиссии автомобиля // Автотранспортное предприятие. 2016. №2. С. 43-47.
15. Лянденбургский В.В., Иванов А.С., Родионов Ю.В., Кравченко Е.В. Виртуальное диагностирование топливной системы дизельного двигателя // Мир транспорта и технологических машин. 2012. №4. С. 3-8.
16. Лянденбургский В.В., Иванов А.С., Экимов П.М., Кухмазов К.З. Контроль технического состояния автоматической коробки передач // Нива Поволжья. 2019. №4(53). С. 121-128.
17. Механизация строительства. Организация диагностирования строительных и дорожных машин. Диагностирование гидроприводов. МДС 12-20-2004. Москва, 2004. 38 с.
18. Морозов А.Х. Техническая диагностика в сельском хозяйстве. М.: Колос, 1979. С. 155.
19. Нагорный В.С. Средства автоматики гидро- и пневмосистем: учебное пособие. М.: Лань, 2014. 448 с.
20. Сарбаев В.И., Селиванов С.С., Коноплев В.Н. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей: механизация и экологическая безопасность производственных процессов. Ростов-на-Дону: Феникс, 2004. 448 с.
21. Харазов А.М. Технологическая диагностика гидроприводов машин. М.: Машиностроение, 1979. 112 с.

#### Иванов Александр Семенович

Пензенский государственный аграрный университет  
Адрес: 440014, Россия, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30  
К.т.н., доцент кафедры технического сервиса машин  
E-mail: Ivanov.a.s@pgau.ru

#### Сергеев Никита Ильич

Пензенский государственный аграрный университет  
Адрес: 440014, Россия, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30  
Аспирант  
E-mail: 3050577@mail.ru

#### Лянденбургский Владимир Владимирович

Пензенский государственный аграрный университет  
Адрес: 440014, Россия, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30  
Д.т.н., профессор кафедры технического сервиса машин  
E-mail: lvv689@yandex.ru

A.S. IVANOV, N.I. SERGEEV, V.V. LYANDENBURSKY

## SOFTWARE FOR DIAGNOSIS OF HYDRAULIC SYSTEMS OF TRANSPORTATION AND TECHNOLOGICAL MACHINES

**Abstract.** When operating working machines, this can be done using software to obtain the most accurate information about the technical condition of hydraulic drives. This will provide the ability to manage their technical condition using methods of prediction and timely elimination of failures and malfunctions.

For complex systems, such as modern hydraulic drives, it is very important to develop technologies for monitoring the condition of the working elements of the hydraulic drive and identifying faults in hydraulic system units, which make it possible to improve technological discipline while increasing the performance of hydraulic drives.

**Keywords:** hydraulic drives, program for diagnosing the hydraulic system, transient method, closed loop model

### BIBLIOGRAPHY

1. Makarova I., Shubenkova K., Mukhametdinov E. Selection of the Method to Predict Vehicle Operation Reliability // Lecture Notes in Networks and Systems. 2020. Vol. 117. P. 316-328.
2. Abramov E.N., Kolesnichenko K.A., Maslov V.T. Elementy gidroprivoda: Spravochnik. Kiev: Tekhnika, 1977. 320 s.
3. Alekseeva T.V., Babanskaya V.D., Bashta T.M. Tekhnicheskaya diagnostika gidravlicheskih privodov. Moskva: Mashinostroenie. 1989. 264 s.
4. Diagnostika i tekhnicheskoe obsluzhivanie mashin: uchebnik dlya studentov vyssh. ucheb. zavedeniy / A.D. Anan`in, V.M. Mikhlin, I.I. Gabitov i dr. Moskva: Akademiya, 2008. 432 s.
5. Anur`ev V.I. Spravochnik konstruktora-mashinostroytelya / Pod red. I.N. Zhitkovoy. V 3 t. T.1. Izd.9-e, pererab. i dop. M.: Mashinostroenie, 2006. 927 s.
6. Bel`skikh V.I. Spravochnik po tekhnicheskomu obsluzhivaniyu i diagnostirovaniyu traktorov. M.: Rossel`khozizdat, 1979. 416 s.
7. Bondarenko E.V., Faskiev R.S. Osnovy proektirovaniya i ekspluatatsii tekhnologicheskogo oborudovaniya: Uchebnik. M.: ITS «Akademiya», 2011. 304 s.
8. GOST 18464-96. Gidroprivody ob`emnye. Gidrotsilindry. Pravila priemki i metody ispytaniy. M.: Standartinform, 2006. S. 12.
9. Ivanov A.S., Lyandenburskiy V.V., Ivanov V.A. Tekhnologicheskie protsessy tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta. Penza: RIO PGAU, 2018. 170 s.
10. Ivanov A.S. Osnovy teorii nadezhnosti i diagnostika. Uchebnoe posobie. Penza: RIO PGSHA, 2011. 308 s.
11. Inozemtsev A.N., Trushin N.N. Gidravlika. Osnovy proektirovaniya i rascheta ob`emnogo gidravlicheskogo privoda: ucheb. posobie. Tula: TulGU, 2009. 224 s.
12. Kuznetsov E.S. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya avtomobiley: uchebnik / Pod red. E.S. Kuznetsova. Moskva: Nauka, 2001. 535 s.
13. Lyandenburskiy V.V., Rybachkov A.V., Ivanov A.S. Osnovy proektirovaniya i ekspluatatsii tekhnologicheskogo oborudovaniya. Penza: PGUAS, 2012. 200 s.
14. Lyandenburskiy V.V., Rodionov Yu.V., Dolganov I.E. Maketnyy obrazets vstroennoy sistemy diagnostirovaniya transmissii avtomobilya // Avtotransportnoe predpriyatie. 2016. №2. S. 43-47.
15. Lyandenburskiy V.V., Ivanov A.S., Rodionov Yu.V., Kravchenko E.V. Virtual`noe diagnostirovanie toplivnoy sistemy dizel`nogo dvigatelya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2012. №4. S. 3-8.
16. Lyandenburskiy V.V., Ivanov A.S., Ekimov P.M., Kukhmazov K.Z. Kontrol` tekhnicheskogo sostoyaniya avtomaticheskoy korobki peredach // Niva Povolzh`ya. 2019. №4(53). S. 121-128.
17. Mekhanizatsiya stroitel`stva. Organizatsiya diagnostirovaniya stroitel`nykh i dorozhnykh mashin. Diagnostirovanie gidroprivodov. MDS 12-20-2004. Moskva, 2004. 38 c.
18. Morozov A.H. Tekhnicheskaya diagnostika v sel`skom khozyaystve. M.: Kolos, 1979. S. 155.
19. Nagornyy V.S. Sredstva avtomatiki gidro- i pnevmosistem: uchebnoe posobie. M.: Lan`, 2014. 448 s.
20. Sarbaev V.I., Selivanov S.S., Konoplev V.N. Tekhnicheskoe obsluzhivanie i remont avtomobiley: mekhanizatsiya i ekologicheskaya bezopasnost` proizvodstvennykh protsessov. Rostov-na-Donu: Feniks, 2004. 448 s.
21. Harazov A.M. Tekhnologicheskaya diagnostika gidroprivodov mashin. M.: Mashinostroenie, 1979. 112 s.

#### Ivanov Alexander Semenovich

Penza State Agrarian University  
Address: 440014, Russia, Penza, st. Botanicheskaya, 30  
Candidate of technical sciences  
E-mail: Ivanov.a.s@pgau.ru

#### Lyandenburskiy Vladimir Vladimirovich

Penza State Agrarian University  
Address: 440014, Russia, Penza, st. Botanicheskaya, 30  
Doctor of technical sciences  
E-mail: lvv689@yandex.ru

#### Sergeev Nikita Ilyich

Penza State Agrarian University  
Address: 440014, Russia, Penza, st. Botanicheskaya, 30  
Postgraduate student  
E-mail: 3050577@mail.ru

Научная статья

УДК 656.7

doi:10.33979/2073-7432-2024-1-1(84)-102-110

В.И. САРБАЕВ, С. ДЖОВАНИС, А.С. ГРИШИН

## УПРАВЛЕНИЕ ЗАПАСАМИ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ НА МУЛЬТИБРЕНДОВЫХ АВТОСЕРВИСНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ КИПР)

**Аннотация.** В статье приведено комплексное исследование состояния и проблем управления запасами запасных частей на мультибрендовых автосервисных предприятиях на примере Республики Кипр. Представлены общие характеристики специфики управления запасами запасных частей на мультибрендовых автосервисных предприятиях, раскрыты основы организационной модели функционирования транспортных предприятий данного типа, в т. ч. общие для Республики Кипра и Российской Федерации. Уточнен комплекс задач управления запасами запасных частей на мультибрендовых автосервисных предприятиях. По результатам анкетирования руководителей и менеджеров 64 кипрских мультибрендовых автосервисных предприятий идентифицированы ключевые методы управления запасами запасных частей. Результаты анкетирования сопоставлены с оценкой результативности управления в предметной области, выделены типовые группы предприятий по критерию основного метода управления запасами запасных частей и ожидаемой эффективности управления. Выделены элементы управления запасами запасных частей на мультибрендовых автосервисных предприятиях Республики Кипра, рекомендуемые для рецепции в российскую практику, определены пути решения задачи повышения результативности управления в предметной области, общие для обозначенной группы транспортных предприятий в России и на Кипре, включающие в себя развитие автоматизации, цифровизацию управления, в сочетании с использованием организационных методов (гибкие контракты на поставку, франчайзинг и новые формы бизнеса).

**Ключевые слова:** мультибрендовые автосервисные предприятия, управление запасами запасных частей, сервисный коэффициент, рентабельность запасов запасных частей, цифровизация управления запасами, виртуальные распределительные склады

### Введение

Актуальность исследования обусловлена динамичным развитием подходов к управлению запасами запасных частей – одной из ключевых, важнейших сфер корпоративного менеджмента современного автосервисного предприятия. В период сравнительно благополучного экономического развития в Российской Федерации автосервисные предприятия страны все чаще переориентировались на работу с конкретным брендом, автомобильным производителем. Монобрендовая концепция функционирования автосервисного предприятия значительно упрощала работу с запасами запасных частей, ввиду небольшой номенклатуры и возможности получения поддержки от представителей бренда, включая оперативные поставки недостающих запасных частей. В новейших условиях беспрецедентного санкционного давления следует ожидать стремительного роста численности мультибрендовых автосервисных предприятий, осуществляющих ремонт и техническое обслуживание автомобилей многих брендов и работающих с многочисленными поставщиками запасных частей. В связи с переориентацией рынка и поставок представляется важным трансформировать подходы к управлению запасами автосервисных предприятий, в том числе на основе опыта компаний из зарубежных стран, в которых мультибрендовая модель исторически была ключевой в организации автосервисного дела. К таким странам относится Республика Кипр, государство, хорошо известное для ряда россиян как место отдыха, так и как территория ведения бизнеса. Анализ состояния, проблем и перспектив управления запасами запасных частей на мультибрендовых автосервисных предприятиях на примере Республики Кипр, выступающий целью настоящей публикации, призван определить универсальные пути решения в части совершенствования управления в предметной области как в Республике Кипр, так и в Российской Федерации.

### ***Материал и методы***

Настоящее исследование подготовлено по материалам анализа специальной научной литературы, данных статистики деятельности предприятий автосервиса Республики Кипр, а также на основе результатов анкетирования руководителей и менеджеров 64 кипрских мультибрендовых автосервисных предприятий.

В настоящей публикации рассматриваются финансовые и технико-экономические показатели деятельности мультибрендовых автосервисных предприятий Республики Кипр (соответственно, сервисный коэффициент и рентабельность запасов запасных частей) за период до начала пандемии COVID-19. В недавно опубликованных исследованиях [1, 2] показано, что, несмотря на распространенные ранее прогнозы, потребительский сектор Европейского Союза вернулся к показателям до пандемии и, что более важно, по всей видимости, никаких устойчивых радикальных изменений в потребительском поведении в результате не произошло. Следовательно, при разработке практических рекомендаций по управлению запасами автосервисных предприятий Кипра необходимо и достаточно опираться на статистические показатели за периоды, предшествовавшие пандемии COVID-19.

### ***Теория***

Организационная модель бизнеса мультибрендового автосервисного предприятия отличается от других существующих моделей, прежде всего, спецификой управления запасами материалов и необходимостью применения универсального оборудования для проведения ремонтных работ и технического обслуживания (ТО), альтернативой которого выступает отказ от предоставления части услуг, передача их по аутсорсингу, повышение стоимости работ и увеличение сроков их осуществления [3].

Республика Кипр традиционно относится к странам со сравнительно невысокой распространенностью монобрендовых автосервисных центров, что связано с такими обстоятельствами, как отсутствие собственного автомобильного производства на Кипре при высоком уровне автомобилизации населения; специфика подвижного парка (ассоциируемая с левосторонним дорожным движением); высоким удельным весом подержанных автомобилей в частном владении и в прокатных бюро; историческим отсутствием приверженности киприотов к определенным маркам и моделям автомобилей. При этом достаточно небольшие размеры по территории и населению аргументируют значительные сложности в организации работы мультибрендовых автосервисных предприятий, при управлении которыми не приходится рассчитывать на эффект масштаба (иными словами, в портфеле клиентов могут пребывать десятки групп, с долей, не превышающей 0,5-5 % от структуры выручки, при этом их численность начинается от нескольких постоянных клиентов, получающих 1-2 услуги в год). Достаточно тесная конкуренция (в соответствии со статистическими данными, в среднем на 100 автомобилей, зарегистрированных в Республике Кипр, приходится не менее 3,3 автосервисных предприятия, не позволяет автосервисным компаниям произвольно отказывать клиентам в обслуживании [4]. Однако без наличия необходимых запасных частей и оборудования приходится либо рассчитывать на лояльность (готовность ожидать выполнение работ сверх нормативного времени и/или согласие на установку более дорогих, равно как бывших в употреблении деталей и агрегатов), либо передавать клиентов конкурентам. В результате, мультибрендовый автосервисный бизнес стоит перед крайне сложной задачей удержать клиента и сохранить приемлемые показатели рентабельности.

Опираясь на теоретико-методологические аспекты управления запасами в автосервисе [5-9], представляется возможным констатировать, что модель функционирования мультибрендового автосервисного предприятия – едва ли не идеальный полигон для апробации научных инструментов и методов управления запасами запасных частей. Лишь благодаря нестандартным решениям имеется возможность в условиях многочисленных ограничений обеспечить рентабельную деятельность компаний такого рода.

Управление запасами запасных частей – сложный раздел корпоративного управления и его важнейший элемент на автосервисных предприятиях, на которых в таких запасах обрачивается 40-85 % всех корпоративных активов и более [10]. На основе анализа специаль-

ной литературы [11, 12] могут быть выделены нижеследующие задачи управления запасами запасных частей на мультибрендовых автосервисных предприятиях:

- рационализация затрат на запасы запасных частей;
- соблюдение требований к страховому и минимальному запасу;
- сохранение клиентов за счет обеспечения высокого уровня фактической доступности запасных частей на складе и удовлетворения потребностей клиентов в момент обращения;
- обеспечение полной, достоверной и актуальной информации о состоянии и движении запасов запчастей, о спросе в ретроспективе и на перспективу.

### **Результаты**

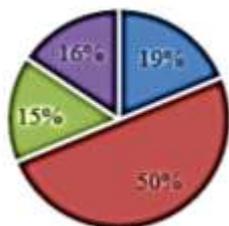
Как показывает практика, мультибрендовые автосервисные предприятия на Кипре выживают и в условиях применения преимущественно интуитивного подхода к управлению запасами запасных частей: на небольших, порой, семейных предприятиях, собственники - они же, как правило, руководители - предпочитают устанавливать нормативы складских запасов, определять их номенклатуру и глубину на основе личного опыта, в том числе выработанного годами «чутья» на то, какие клиенты в какой момент могут запросить соответствующие услуги, и для какой марки и модели автомобиля. Несколько просчетов в данной области могут оказаться критичными - по данным статистического ведомства, ежегодно около 5–8% от зарегистрированных компаний, классифицируемых как автосервисные, приостанавливает или прекращает свою регистрацию (в пандемию показатель возрос почти вдвое и составил 13 % и 14 % соответственно в 2021 и 2022 гг.) [4]. И, хотя статистика не приводит разграничения между различными типами автосервисных предприятий, вполне очевидно, что монобрендовые компании, в особенности пребывающие под защитой бренда, например, через инструменты франчайзинга, будут демонстрировать лучшую выживаемость. Для выживания и рыночного развития мультибрендовых автосервисных предприятий представляется необходимым отойти от исключительно интуитивного типа принятия решений в системе управления запасами запасных частей. Данный вывод подтверждается материалами проведенного автором в октябре-ноябре 2022 года анкетирования руководителей и менеджеров 64 кипрских мультибрендовых автосервисных предприятий. В ходе опроса была поставлена цель идентифицировать преимущественные методы управления запасами запасных частей, при этом обязательным условием для участия в анкетировании выступила организация бизнеса не менее, чем за полный финансовый год до начала пандемии, то есть не позднее 2018 года. В результате можно констатировать, что массовые практики, выявленные в ходе опроса, по меньшей мере соответствуют выживаемости автосервисных предприятий в коронавирусный кризис.

Среди аспектов, выявленных в ходе анкетирования, - характеристики конкретного метода управления запасами, применение специализированного программного обеспечения для данных целей, наличие выделенного специалиста или подразделения по управлению запасами запасных частей, изменение модели управления запасами запчастей за последние годы (включая самооценку ее успешности респондентами), наличие проблем и предлагаемые пути решения.

По результатам анкетирования выявлено, что специализированное управление запасами запасных частей осуществляется на 54 предприятиях (84,4 % от общей численности), при этом специализированные подразделения есть лишь на 12 предприятиях (18,8 %), а на 32 предприятиях (50,0 %) соответствующими задачами занимается выделенный работник (рис. 1). Еще на 10 предприятиях (15,6 %) управление запасами запчастей передано по аутсорсингу, в том числе операторам арендуемого склада.

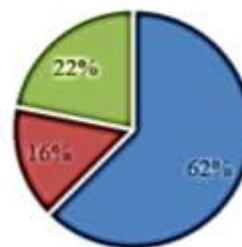
Представленные обстоятельства свидетельствуют, скорее, не о недостаточном понимании значения управления запасами запчастей в развитии бизнеса автосервисного предприятия, а об ограниченных возможностях в данной сфере, в том числе связанных с небольшими размерами самих предприятий – для автосервисной системы Кипра характерно обилие малых и средних, в том числе семейных, предприятий, прежде всего именно в мультибрендовом сегменте. Расширение понимания значимости управления в предметной области для

благополучия бизнеса приводит ко все более активному использованию специализированного программного обеспечения (ПО) для управления запасами – предприниматели сами или их контрагенты по аутсорсингу в 50 случаях из 64 (78,1 %) прибегают к автоматизации управления запасами запасных частей (рис. 2).



- Специализированное подразделение
- Выделенный работник
- Передано на аутсорсинг
- Специализированное управление не осуществляется

*Рисунок 1 – Применение вариантов организации управления запасами запасных частей на мультибрендовых автосервисных предприятиях Республики Кипр (по материалам анкетирования руководителей и менеджеров автосервисных предприятий), % от общей численности участников опроса*



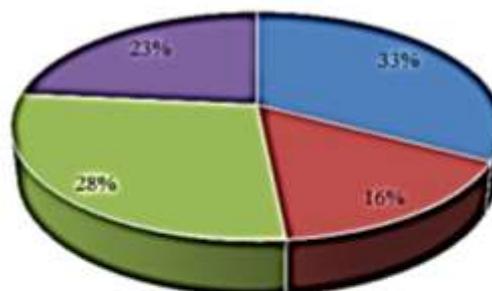
- ПО (используют самостоятельно)
- ПО (используют аутсорсинговые партнеры)
- Не используют ПО

*Рисунок 2 – Использование специализированного программного обеспечения по управлению запасами запасных частей на мультибрендовых автосервисных предприятиях Республики Кипр (по материалам анкетирования руководителей и менеджеров автосервисных предприятий), % от общей численности участников опроса*

Среди моделей управления запасами получили распространение интуитивный подход, ABC-анализ, автоматизированные системы на основе анализа статистики (респонденты могли выбрать только одну модель, которая наибольшим образом доминировала в прошлые годы). Соответствующее распределение представлено на рисунке 3 и не позволяет сделать однозначный вывод о доминировании научного подхода в управлении запасами запасных частей на мультибрендовых автосервисных предприятиях Республики Кипр.

Как показало анкетирование, многие руководители и менеджеры автосервисных предприятий задумываются о введении инноваций в управлении запасами запасных частей (90,6 % от числа участников опроса), а на 15 предприятиях (23,4 %) соответствующие подходы поменялись за последние несколько лет, при этом все представители данной группы оказались удовлетворены результатами внедрения инноваций.

Среди основных проблем, названных участниками опроса – отсутствие знаний и компетенций, рабочей силы, дороговизна автоматизации. Одной из новейших проблем в сфере управления запасами запасных частей на автосервисных предприятиях Республики Кипр является соответствие данного управления ESG-критериям, то есть, говоря упрощенно, новым требованиям по климатической нейтральности, определяемых снижением эмиссии углеродов в атмосферу [13-17].



- Интуитивный подход
- Другое / отсутствует как таковое
- ABC-анализ и аналогичные подходы
- Автоматизация на основе статистических данных

*Рисунок 3 – Основные направления (подходы) к управлению запасами запасных частей на мультибрендовых автосервисных предприятиях Республики Кипр (по материалам анкетирования руководителей и менеджеров автосервисных предприятий), % от общей численности участников опроса*

Следует подчеркнуть, что само хранение значительных запасов запчастей усиливает климатическую нагрузку через рост условных выбросов CO<sub>2</sub>, генерируемых машинами, агрегатами, а также людьми и процессами их деятельности. Автосервисные предприятия Кипра должны быть уже сегодня готовы к тому, что в ближайшем будущем показатели будут исчисляться и нормироваться, а предпринимателям придется уплачивать дополнительный налог. Соответствующие обстоятельства стимулируют инновации в управлении запасами запчастей, и на них обращают внимание представители 92,2 % предприятий от числа принявших участие в анкетировании. Российские автосервисные компании неизбежно столкнутся с данной проблематикой в обозримом будущем безотносительно фактических условий – такими могут стать существенный рост стоимости импортируемых запчастей, пусть даже ввозимых по параллельному импорту, если партнеры в системе импорта не уложатся в установленные квоты.

В рамках проведенного исследования также были уточнены аспекты, связанные с результативностью моделей управления запасами запасных частей на мультибрендовых автосервисных предприятиях Республики Кипр. В процессе анкетирования, участникам упомянутого опроса было предложено заполнить статистический раздел, на основании которого автором рассчитаны некоторые показатели эффективности менеджмента – сервисный коэффициент и показатель рентабельности запасов в виде средних значений по каждой компании за пять лет до начала пандемии. Сервисный коэффициент «...указывает количество позиций, которые выдаются на складе по первому требованию, по отношению к общему числу запрошенных позиций» [18, с. 69]. В свою очередь, рентабельность запасов запасных частей характеризует отношение полученной прибыли на средний остаток запасов запасных частей и отражает наиболее рациональное использование данной группы запасов в интересах получения экономической выгоды [19, 20]. Все проанализированные предприятия могут быть условно разделены на IV группы (табл. 1) по степени внедрения научного подхода к управлению запасами запчастей – чем более высокой группе соответствует компания, тем более продвинутым оказалось управление в предметной области.

Таблица 1 - Группировка мультибрендовых автосервисных предприятий Республики Кипр по уровню внедрения научного подхода к управлению запасами запасных частей

Параметр	Группа I	Группа II	Группа III	Группа IV
Наличие специализированного управления запасами запасных частей	Нет / Да	Да		
Наличие отдела/должностного лица по управлению запасами	Нет / Аутсорсинг	Должностное лицо	Должностное лицо или отдел	Отдел
Преимущественный подход к управлению запасами	Интуитивный	ABC	Статистический анализ	
Применение специализированного ПО и других инноваций	Нет	Нет / по аутсорсингу	Да, в т. ч. аутсорсинг	Да
Число предприятий в группе (в скобках – удельный вес от общей численности предприятий в анализе)	21 (32,8%)	18 (28,1%)	15 (23,4%)	10 (15,6%)
Среднее групповое значение сервисного коэффициента	0,52	0,64	0,76	0,94
Среднее групповое значение коэффициента рентабельности запасов запасных частей, %	4,15%	5,97%	7,99%	13,4%

В рамках анализа выявлены среднегрупповые значения показателей сервисного коэффициента и рентабельности запасов запчастей. Выявлено, что по мере роста научной обоснованности управления запасами запчастей (включение компаний в более высокую группу в таблице 1), одновременно наблюдается рост значения сервисного коэффициента и рентабельности запасов, что является аргументом в пользу совершенствования управления запасами запасных частей на мультибрендовых автосервисных предприятиях Республики Кипр. Другой аргумент – обратная пропорция в числе участвующих предприятий по мере возрас-

тания номера групп, что свидетельствует о преимущественной распространенности наиболее простых подходов к управлению запасами запасных частей на мультибрендовых автосервисных предприятиях Республики Кипр.

**Обсуждение. Практические рекомендации**

Разработка практических рекомендаций в предметной области опирается на выявленные проблемы и противоречия, а также связана с возможностью рецепции опыта управления запасами запасных частей на мультибрендовых автосервисных предприятиях Республики Кипр в России.

Проведенный анализ показал, что ключевые решения должны совмещать опыт автоматизации (или, точнее, цифровизации, учитывая содержание передовых достижений эпохи) в сочетании с трансформацией бизнес-моделей организации автосервисных предприятий в направлении обеспечения максимальной их гибкости. Соответствующие решения актуальны как для автосервисных предприятий Кипра, так и для аналогичных предприятий России, в особенности тех, которые планируются к организации или трансформируют бизнес-модель по мультисервисному типу.

Цифровые трансформации должны предполагать, в первую очередь, тотальную автоматизацию управления запасными частями на всех без исключения мультибрендовых автосервисных предприятиях. Для более крупных автосервисных предприятий уже сегодня актуально решение вопроса о переводе специализированного управления запасами на цифровые рельсы, в частности, с использованием инструментария нейросетевого анализа больших данных о заказах за ряд предыдущих лет, на основе которого возможно разработать высокоточные прогнозы по ключевым показателям запасов. Крупные компании могут поддержать цифровые инновации в малом и среднем автосервисном бизнесе, передавая в распоряжение соответствующие технологические наработки.

Автоматизацию (цифровизацию) управления запасами запасных частей на мультибрендовых автосервисных предприятиях Республики Кипр и Российской Федерации целесообразно дополнить гибкими организационными решениями, включая совместное управление центральными распределительными складами (ЦРС), а также создание виртуальных складов на основе цифровых платформ управления (ВРС, виртуальных распределительных складов).

Идея ЦРС заключается в том, что подобные склады организуются и арендуются несколькими (многими) предприятиями вскладчину, однако функционируют таким образом, как если бы они принадлежали крупному территориально распределенному сетевому предприятию. Поскольку автосервисные предприятия, как правило, не располагают достаточными компетенциями для полноценного управления такими услугами, организация и операционное управление могут быть переданы по аутсорсингу.

ВРС – еще более сложная система – это некий аналог ЦРС под централизованным управлением специального провайдера, при этом контроль и манипуляции, такие как размещение и удовлетворение заявок, актуальное отслеживание наличия запчастей на распределенных складах осуществляются через цифровые платформы. Сами же склады могут представлять собой арендуемые помещения, территории в разных точках, от небольшой площади в несколько квадратных метров – задача платформы проанализировать, какой может быть спрос на какие запчасти в данной территории и лучшим образом удовлетворить заявку автосервисного предприятия с минимальными временными и иными логистическими затратами.

При реализации моделей ЦРС и ВРС, у автосервисного предприятия отпадает необходимость управлять собственным складом с большой товарной номенклатурой запасных частей, в то время как показатели фактической обеспеченности запасов, прежде всего, сервисный коэффициент, будут на уровне даже более высоком, чем у крупных монобрендовых автосервисных компаний.

Определенный интерес для автосервисных предприятий Кипра и России представляет инструментарий опционов на приобретение запасов и иные финансовые инновации, которые могут быть использованы в предметной области для снижения непредвиденных потерь в результате любых просчетов в управлении и прогнозировании, а также непредвиденного влия-

ния факторов внешней среды (пандемия, санкции и др.). Для небольших предприятий особый интерес представляют финансовые инновации в цифровой среде, включая инструменты децентрализованного финансирования и страхования запасов (краудлендинг, краудвестинг). В указанных целях могут быть применены также инструменты гибких контрактов, заключаемые с официальными дилерами и дистрибуторами запчастей с защищенной («бери или плати») и опциональной частью контракта (для российских компаний подобные контракты могут быть рекомендованы к заключению, например, в сфере параллельного импорта, а также с поставщиками запчастей из дружественных государств).

В указанных целях для практической реализации могут быть рекомендованы и иные новые формы бизнеса, такие, как облачные консультанты и аналитики по управлению складскими запасами для небольших, в том числе семейных, автосервисных предприятий.

Доступ к знаниям и компетенциям позволит устранить ключевые пробелы в управлении запасами запчастей именно в малом и среднем автосервисном бизнесе, а для России, с учетом санкционного фактора, принципиально соседствует с интегральной обеспеченностью автосервисных предприятий всех размеров и форм собственности надежными высокотехнологичными решениями по управлению запасами запасных частей.

### **Выводы**

Таким образом, управление запасами запасных частях на мультибрендовых автосервисных предприятиях представляет сложную задачу, актуальную как для условий практической деятельности предприятий Республики Кипр, так и для предприятий из Российской Федерации. Научный подход позволит решить ключевые задачи совершенствования управления в предметной области, его основные элементы должны опираться на автоматизацию и цифровизацию управления запасами запчастей, а также на внедрение гибких моделей управления. Российским предприятиям следует дополнительно учитывать тенденции в области ESG-повестки, в соответствии с которыми актуализируется выявление и реализация резервов управления запасами запасных частей на мультибрендовых автосервисных предприятиях.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Belousova V. et al. Post-industrial, Post-pandemic? The Service Economy in the Wake of COVID-19 // COVID-19 and Society. Springer, Cham, 2022. P. 95-128.
2. Free C., Hecimovic A. Global supply chains after COVID-19: the end of the road for neoliberal globalisation?// Accounting, Auditing & Accountability Journal. 2021. Vol. 34. №1. P. 58-84.
3. Persson M., Augustsson H. Inventory and sourcing improvements within the car service and repair industry. A case study of a multi-brand company: дис., 2010.
4. Республика Кипр, Статистическая служба: Официальный сайт Статистической службы Республики Кипр, греч. яз.) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.cystat.gov.cy/el/default>.
5. Бугримов В.А. и др. Статистическая основа имитационного моделирования системы управления запасами предприятия автосервиса // Мир транспорта и технологических машин. 2017. №1. С. 132-138.
6. Волгин В. Автосервис. Маркетинг и анализ: Практическое пособие. М., 2022.
7. Зарипова Р.С., Чупаев А.В., Галямов Р.Р. Система управления запасами комплектующих на складе автосервиса // Наука Красноярья. 2020. Т. 9. №3-4. С. 51-55.
8. Крамаренко Е.Р. и др. Модель управления запасами в автосервисе // Исследование и проектирование интеллектуальных систем в автомобилестроении, авиастроении и машиностроении («ISMCA'2019»). 2019. С. 128-131.
9. Мякишев В.С. и др. Управление запасами на предприятиях автосервиса // Управленческий учет. 2021. №7-1. С. 247-253.
10. Toomey J.W. Inventory management: principles, concepts and techniques. Springer Science & Business Media, 2020.
11. Abdulrahman M.D. et al. Improving agility and resilience of automotive spares supply chain: The additive manufacturing enabled truck model // Socio-Economic Planning Sciences. Available online 12 August 2022, 101401.
12. dos Santos Pilar M. F. Automobile Repair Scheduling: A Real case: дис. Instituto Politecnico do Porto (Portugal), 2019.
13. Bosler M., Jud C., Herzwurm G. Connected-Car-Services: eine Klassifikation der Plattformen für das vernetzte Automobil // HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik. 2017. Vol. 54. №6. P. 1005-1020.
14. Bloomberg E.S.G. Environmental, social & governance (ESG) product // Retrieved October. 2018. Vol. 15. P. 2020.

15. Garvey G.T., Iyer M., Nash J. Carbon footprint and productivity: does the «E» in ESG capture efficiency as well as environment // J Invest Manag. 2018. Vol. 16. №1. P. 59-69.
16. Ng A. Green Investing and Financial Services: ESG Investing for a Sustainable World // The Palgrave Handbook of Global Sustainability. Cham: Springer International Publishing, 2021. P. 1-12.
17. Stefanoni S., Voltes-Dorta A. Technical efficiency of car manufacturers under environmental and sustainability pressures: A Data Envelopment Analysis approach // Journal of Cleaner Production. 2021. Vol. 311. P. 127589.
18. Долгорсурэн М.М., Бурцев А.О., Жаров С.П. Оценка работы склада запасных частей в производственном процессе автосервисного предприятия // Вестник Курганского государственного университета. 2016. №3(42). С. 66-71.
19. Абжанова Е.С., Никулина С.Н. Анализ обеспеченности организации материально-производственными запасами // Вопросы устойчивого развития общества. 2020. №3-2. С. 489-495.
20. Смолькин И.А., Антонова Н.Л. Оценка эффективного управления запасами запасных частей // Глобальная экономика в XXI веке: роль биотехнологий и цифровых технологий. 2020. С. 122.

**Сарбаев Владимир Иванович**

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

**Джованис Симос**

Московский политехнический университет»  
Адрес: 107023, Россия, Москва, ул. Б. Семеновская, д. 38  
Аспирант  
E-mail: singmanos@yahoo.com

**Гришин Александр Сергеевич**

ООО СП «БИЗНЕС КАР»  
Адрес: 113452, Россия Москва, Балаклавский проспект, д. 26  
К.т.н., начальник отдела корпоративного развития и контроля  
E-mail: agrishin@toyotabc.ru

---

V.I. SARBAEV, S. TZIOVANNIS, A.S. GRISHIN

**SPARE PARTS INVENTORY MANAGEMENT  
AT MULTI-BRAND CAR SERVICE ENTERPRISES  
(ON THE EXAMPLE OF THE REPUBLIC OF CYPRUS)**

***Abstract.** The article presents a comprehensive study of the state and problems of spare parts inventory management at multi-brand car service enterprises on the example of the Republic of Cyprus. The general characteristics of the specifics of spare parts inventory management at multi-brand car service enterprises are presented, the foundations of the organizational model for the functioning of transport enterprises of this type, including those common to the Republic of Cyprus and the Russian Federation, are disclosed. The set of tasks for managing the inventory of spare parts at multi-brand car service enterprises has been clarified. Based on the results of a survey of executives and managers of 64 Cypriot multi-brand car service enterprises, key methods for managing spare parts stocks were identified. The results of the survey were compared with the assessment of the effectiveness of management in the subject area, typical groups of enterprises were identified according to the criterion of the main method of managing spare parts inventory and the expected management efficiency. The elements of spare parts inventory management at multi-brand car service enterprises of the Republic of Cyprus, recommended for reception into Russian practice, are identified, ways to solve the problem of improving the effectiveness of management in the subject area, common to the designated group of transport enterprises in Russia and Cyprus, including the development of automation, digitalization management, combined with the use of organizational methods (flexible supply contracts, franchising and new forms of business).*

***Keywords:** spare parts inventory, multi-brand auto service enterprises, spare parts inventory management, service ratio, spare parts inventory profitability, digitalization of spare parts inventory management, virtual distribution warehouses*

**BIBLIOGRAPHY**

1. Belousova V. et al. Post-industrial, Post-pandemic? The Service Economy in the Wake of COVID-19 // COVID-19 and Society. Springer, Cham, 2022. P. 95-128.

2. Free C., Hecimovic A. Global supply chains after COVID-19: the end of the road for neoliberal globalisation? // Accounting, Auditing & Accountability Journal. 2021. Vol. 34. №1. P. 58-84.
3. Persson M., Augustsson H. Inventory and sourcing improvements within the car service and repair industry. A case study of a multi-brand company: dis., 2010.
4. Respublika Kipr, Statisticheskaya sluzhba: Ofitsial'nyy sayt Statisticheskoy sluzhby Respubliki Kipr, grech. yaz.) [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.cystat.gov.cy/el/default>.
5. Bugrimov V.A. i dr. Statisticheskaya osnova imitatsionnogo modelirovaniya sistemy upravleniya za-pasami predpriyatiya avtoservisa // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2017. №1. S. 132-138.
6. Volgin V. Avtoservis. Marketing i analiz: Prakticheskoe posobie. M., 2022.
7. Zaripova R.S., Chupaev A.V., Galyamov R.R. Sistema upravleniya zapasami komplektuyushchikh na sklade avtoservisa // Nauka Krasnoyar'ya. 2020. T. 9. №3-4. S. 51-55.
8. Kramarenko E.R. i dr. Model' upravleniya zapasami v avtoservise // Issledovanie i proektirovanie intellektual'nykh sistem v avtomobilstroenii, aviastroenii i mashinostroenii («ISMCA'2019»). 2019. S. 128-131.
9. Myakishev V.S. i dr. Upravlenie zapasami na predpriyatiyakh avtoservisa // Upravlencheskiy uchet. 2021. №7-1. S. 247-253.
10. Toomey J.W. Inventory management: principles, concepts and techniques. Springer Science & Business Media, 2020.
11. Abdulrahman M.D. et al. Improving agility and resilience of automotive spares supply chain: The additive manufacturing enabled truck model // Socio-Economic Planning Sciences. Available online 12 August 2022, 101401.
12. dos Santos Pilar M. F. Automobile Repair Scheduling: A Real case: dis. Instituto Politecnico do Porto (Portugal), 2019.
13. Bosler M., Jud C., Herzwurm G. Connected-Car-Services: eine Klassifikation der Plattformen f#r das vernetzte Automobil // HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik. 2017. Vol. 54. №6. P. 1005-1020.
14. Bloomberg E.S.G. Environmental, social & governance (ESG) product // Retrieved October. 2018. Vol. 15. P. 2020.
15. Garvey G.T., Iyer M., Nash J. Carbon footprint and productivity: does the «E» in ESG capture efficiency as well as environment // J Invest Manag. 2018. Vol. 16. №1. P. 59-69.
16. Ng A. Green Investing and Financial Services: ESG Investing for a Sustainable World // The Palgrave Handbook of Global Sustainability. Cham: Springer International Publishing, 2021. P. 1-12.
17. Stefanoni S., Voltes-Dorta A. Technical efficiency of car manufacturers under environmental and sustainability pressures: A Data Envelopment Analysis approach // Journal of Cleaner Production. 2021. Vol. 311. P. 127589.
18. Dolgorsuren M.M., Burtsev A.O., Zharov S.P. Otsenka raboty sklada zapasnykh chastey v proizvodstvennom protsesse avtoservisnogo predpriyatiya // Vestnik Kurganskogo gosudarstvennogo universiteta. 2016. №3(42). S. 66-71.
19. Abzhanova E.S., Nikulina S.N. Analiz obespechennosti organizatsii material'no-proizvodstvennymi zapasami // Voprosy ustoychivogo razvitiya obshchestva. 2020. №3-2. S. 489-495.
20. Smol'kin I.A., Antonova N.L. Otsenka effektivnogo upravleniya zapasami zapasnykh chastey // Global'naya ekonomika v XXI veke: rol' biotekhnologii i tsifrovyykh tekhnologiy. 2020. S. 122.

**Sarbaev Vladimir Ivanovich**

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

**Simos Tziovannis**

Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia  
Address: 107023, Russia, Moscow, Semenovskaya str., 38  
Postgraduate student  
E-mail: singmanos@yahoo.com

**Grishin Aleksandr Sergeevich**

JV «BUSINESS CAR» LLC  
Address: 113452, Russia, Moscow, Balaklavsky Prospekt, 26  
Candidate of technical sciences  
E-mail: agrishin@toyotabc.ru

Научная статья

УДК 378

doi:10.33979/2073-7432-2024-1-1(84)-111-118

С.Г. ГУРЬЯНОВ

## ФОРМИРОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ НАВЫКОВ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ РЫНКА ТРУДА

***Аннотация.** В статье представлен опыт автоматизированного анализа корпуса объявлений о вакансиях, актуальных для выпускников направления подготовки 23.03.03 “Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов”. В рамках исследования собрано и проанализировано 20516 вакансий отрасли автомобильный бизнес и сопутствующих подотраслей. Определена локационная принадлежность вакансий, средняя заработная плата, выделены наиболее частотные требования, предъявляемые к соискателям. Результаты анализа соотнесены с основными положениями образовательной программы, на основе чего сделаны выводы о необходимости системного учета требований работодателей для повышения качества подготовки специалистов.*

***Ключевые слова:** рынок труда, требования к соискателям, транспорт, автосервис, высшее образование, университет*

### **Введение**

В настоящее время экономический рост любого государства напрямую зависит от человеческого капитала и от состояния рынка труда, характеризующего реальный сектор экономики.

Согласно исследованиям Международного банка реконструкции и развития наличие высшего образования приводит к повышению производительности труда, обеспечивает возможность создания и внедрения инноваций. Однако, несмотря на существенные инвестиции обеспечение качества образования и соответствия запросам рынка труда остаются ключевыми проблемами во многих странах. Выпускники высших учебных заведений, не соответствующие запросам рынка труда, либо не смогут трудоустроиться по специальности, либо будут вынуждены пройти долгий и дорогостоящий для предприятия период адаптации [1-2].

В нашей стране по данным Росстата доля трудоустроенных выпускников высшего и среднего профессионального образования от их общей численности с 85,2 % в 2018 году снизилась до 75,4 % в 2020 году, при этом по специальности работают в среднем только 74 % выпускников [3]. Кроме того, необходимо учитывать, что часть студентов были отчислены в процессе обучения, в том числе не только по причине низкой успеваемости. По исследованиям Д.С. Репецкого [4] до 40 % студентов выбрали свою профессию не самостоятельно, а по совету друзей или родственников, либо исходя из доступности поступления, либо вообще случайным образом. Слабое представление о будущей профессии, требуемых навыках, ключевых предприятиях, уровне зарплат, а также неопределенность в будущей карьере и сложность трудоустройства крайне негативно влияют на мотивацию студентов старших курсов, существенно ухудшая их успеваемость [5-6]. Так, по результатам опроса, каждый третий работодатель (31 %) отмечает определенную неудовлетворенность качеством подготовки молодых специалистов, начинающих карьеру [7].

Одним из ключевых аспектов профессиональной успешности будущего специалиста является мотивация. В.К. Вилюнас связывает мотивацию с преследуемыми целями, которые должны быть выгодными, а средства их достижения - приемлемыми [8]. К наиболее популярным мотивам выбора профессии абитуриентами являются интерес к содержанию профессии, высокая заработная плата и возможность трудоустройства [9]. Последние два мотива напрямую зависят от соответствия качества подготовки выпускников потребностям рынка труда.

Постоянный мониторинг рынка труда может стать эффективным инструментом, решающим задачи профориентационной работы и актуализации элементов основных профессиональных образовательных программ (ОПОП). Результатами анализа могут стать не только требования работодателей к соискателям, но и уровень заработной платы как по профессиям, так и по регионам. Также расширить область профессиональной деятельности выпускника можно за счет программ повышения квалификации и профессиональной переподготовки.

Однако, количество вакансий по стране в одной области профессиональной деятельности измеряется десятками тысяч, поэтому их анализ является достаточно сложным и трудоемким процессом, если его выполнять в ручную. Решением проблемы может стать применение программного обеспечения для сбора и анализа вакансий, отслеживания основных требований работодателей и соотнесения их с существующими ОПОП образовательной организации [10-11].

Применение современных нейросетей позволит решать задачи контент-анализа текстов [12-13], прогнозирования уровня заработной платы, классификации как работодателей, так и выпускников. Если студенты еще в период обучения начнут формировать свою карьерную траекторию исходя из желаемого профиля должности, то смогут сфокусироваться на компетенциях конкретной профессии, что позволит в дальнейшем трудоустроиться в соответствии с интересами, зарплатными и карьерными ожиданиями.

В рамках данного исследования обратимся к вакансиям, потенциальным адресатом которых могут являться выпускники бакалавриата по направлению подготовки 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов. Необходимо отметить, что несмотря на востребованность специалистов автотранспортной отрасли, по данному направлению подготовки в региональных вузах наблюдается ряд серьезных проблем: низкий проходной балл, отсутствие желающих учиться на контрактной основе, большое число неуспевающих и отчисленных студентов и др.

Цель исследования: разработка рекомендаций по совершенствованию основной профессиональной образовательной программы направления 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов.

#### **Материалы и методы**

Исследования проводились на кафедре «Технический сервис и ремонт машин» Пермского ГАТУ. Для анализа использовалась ОПОП по направлению подготовки 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов.

Вакансии анализировались на сайте hh.ru при помощи программы для сбора и систематизации информации (parser). Парсинг, или автоматизированный сбор информации с веб-сайтов, является легальным и широко применяемым инструментом [14]. Собрано 20516 вакансий отрасли автомобильный бизнес и сопутствующих подотраслей (торговля, производство, обслуживание и ремонт автомобилей и транспортно-технологических машин).

По каждой вакансии собраны данные о наименовании должности и города, размере заработной платы, требованиях к соискателю, его обязанностях, графике работы.

Анализ требований к соискателям и их обязанностей вызвал больше затруднений, поскольку материалом служили тексты, написанные в свободной форме. В качестве метода был использован семантический контент-анализ. Описание вакансий подверглось предварительной лингвистической обработке:

- 1) удалены знаки препинания и спецсимволы;
- 2) текст разбит на отдельные слова;
- 3) все слова записаны строчными буквами;
- 4) выполнена лемматизация (все слова приведены к исходной словарной форме, например, именительный падеж единственного числа для существительных);
- 5) удалены слова не несущие смысловой нагрузки (союзы, частицы, местоимения и пр.);
- 6) проведен частотный анализ лемм;
- 7) слова высокой частотности распределены по смысловым группам: объекты воздействия и субъекты взаимодействия; виды работ; опыт работы и образование соискателя; про-

фессиональные и личностные качества соискателя.

### Теория

На основе анализа профильной части учебного плана выявлены четыре группы потенциальных должностей, на вакансии по которым могут претендовать выпускники:

- автослесарь / автомеханик;
- автоэлектрик / диагност;
- мастер-приемщик автомобилей;
- менеджер по продажам автомобилей и запасных частей.

Результатом образовательной деятельности является сформированность у обучающихся компетенций, необходимых для выполнения трудовых функций. Компетенции состоят из трех компонентов (индикаторов достижения): знаний, умений и владений. Именно эти ключевые слова использовались для анализа текста требований к соискателям и описания вакансий. Результаты обучения, необходимые для успешного трудоустройства формировались по трем компонентам через автоматизированный анализ текстов. Каждое предложение после приведения всех слов к словарной форме проверялось на наличие слов знать, уметь, владеть, навык, опыт и в случае нахождения относилось к соответствующему множеству. Например, требование «соискатель должен знать конструкцию легкового автомобиля» относилось к знаниевой компоненте результатов обучения.

Основной мотивацией обучающихся является последующее успешное трудоустройство на должность с высокой заработной платой. Поскольку высокая зарплата субъективное понятие, производился расчет средней и медианной заработной платы и величины сравнивались со средней по стране. Кроме того, вакансии укрупненно разделены на группы по функциональной принадлежности, что может быть важно при выборе индивидуальной образовательной траектории обучающегося.

### Результаты

В рамках исследования анализировались вакансии по всей России, локационная принадлежность вакансий представлена на рисунке 1.



Рисунок 1- Города, в которых востребованы специалисты автомобильного бизнеса

Очевидно, что чем больше численность населения, тем выше потребность в специалистах, поэтому наибольшее количество объявлений было зафиксировано в крупных центрах страны (Москва, Санкт-Петербург).

Все вакансии разделены на группы по выполняемым трудовым функциям. Вакансии неквалифицированных работников (грузчики, охранники) и непроизводственного персонала для отрасли автомобильный бизнес (врачи, повара) не анализировались. В итоге количество

вакансий уменьшилось до 15758. В таблице 1 представлены наименования групп, примеры наименований вакансий, заработная плата. В случаях, когда заработная плата указывалась в виде диапазона принималось среднее значение. Группы вакансий 8, 9 и 10 можно лишь условно отнести к автомобильному бизнесу, т.к. у специалистов должно быть профильное базовое образование (например, информационные технологии у программистов). Однако, они могут представлять интерес, т.к. ускорить их адаптацию в автомобильном бизнесе можно за счет курсов повышения квалификации.

Таблица 1 - Средняя и медианная заработная плата по группам вакансий

№	Группа вакансий	Примеры наименований вакансий	Количество объявлений	Средняя зарплата, руб.	Медианное значение зарплаты, руб.
1	Все вакансии		<b>15758</b>	<b>70597</b>	<b>65000</b>
2	Производственный персонал	автослесарь, автомеханик, автоэлектрик, диагност	8686	70041	60000
3	Отдел продаж	мастер-приемщик; менеджер по продаже запасных частей / автомобилей	1860	77746	70000
4	Служба эксплуатации	экспедитор, водитель, машинист, бульдозерист	1750	83975	80000
5	Снабжение	снабженец, комплектовщик, автоподборщик	984	47907	45000
6	Управление	директор, заместитель директора, мастер цеха, бригадир, управляющий	501	104742	90000
7	Конструкторское бюро	конструктор, проектировщик	364	66957	60000
8	IT	программист, разработчик, дизайнер, аналитик	636	95619	75000
9	Финансовый отдел	SEO, SMM, маркетолог, бухгалтер, экономист	686	53900	46000
10	Юридический отдел, кадры и канцелярия	юрист, юрисконсульт, HR, секретарь, архивариус	291	49524	44000

По данным Росстата среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников в России за 2022 год составила 65338 рублей [15], таким образом, зарплата в целом по отрасли не ниже средней по стране, кроме того медианная зарплата близка к средней, т.е. уровень зарплат в автомобильной отрасли в различных регионах страны примерно одинаковый. Из таблицы 1 видно, что наиболее востребованы специалисты, относящиеся к производственному персоналу, работающие непосредственно с автомобилями. Наименее востребованы конструкторы и проектировщики.

На рисунке 2 представлены наиболее часто встречающиеся слова в текстах вакансий.

Как видно из рисунка, чаще всего работодателей интересует опыт работы, знание устройства автомобиля, умения работать с клиентами и компьютером, а также наличие технического образования.

По результатам анализа текстов объявлений можно выделить две основные группы вакансий: 1) персонал, работающий с техникой (автослесарь и автоэлектрик) и 2) персонал, общающийся с клиентами (мастер-приемщик и менеджер по продажам). К объектам воздействия, с которыми предстоит работать соискателям, отнесены различные виды транспорта, узлы, агрегаты, компьютерные программы. Наиболее частотным объектом является легковой автомобиль (88 % всех вакансий, содержащих сведения об объекте), на втором месте грузовой автомобиль (9 % вакансий). Эти данные согласуются с тем, что 75 % всех автомобилей в России легковые [16].

Для персонала, работающего с техникой наиболее востребованные виды работ - обслуживание, ремонт и диагностика автомобилей. Для мастеров-приемщиков - это приемка и выдача автомобилей, оформление документов, контроль работы производственного персона-

ла, консультирование клиентов. Для менеджеров по продажам - подбор товаров, документооборот, продажи. Среди программного обеспечения наиболее частотное упоминание 1С Авто-сервис, MS Office, а также специализированных программ диагностики или каталогов запасных частей.

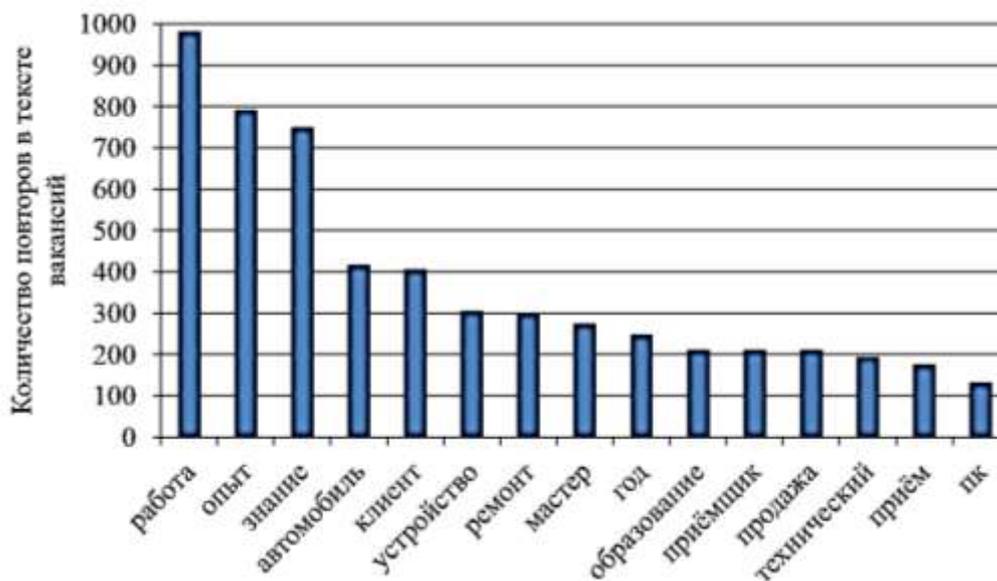


Рисунок 2 - Результаты частотного анализа текста

Что касается личностных качеств, у работающих с техникой работодатели хотели бы видеть исполнительность и ответственность, у тех, кто взаимодействует с клиентами - грамотность и коммуникабельность. Эти данные согласуются с результатами независимой оценки образовательных программ [17]. Выделенные из вакансий требования к профессиональным качествам соискателей разделены на знания, умения и навыки (табл. 2).

Таблица 2 - Профессиональные качества соискателя

Результаты обучения	Автослесарь	Диагност	Мастер-приемщик	Менеджер
<b>Знания:</b>				
конструкции и устройства автомобиля	+	+	+	+
специализированных компьютерных программ	+	+	+	+
эксплуатационных материалов, запасных частей	+	+	+	+
технологий обслуживания и ремонта	+	+	+	
гаражного оборудования, оснастки и инструмента	+	+		
менеджмента и маркетинга (в т.ч. продаж)			+	+
<b>Умения:</b>				
работать с документацией	+	+	+	+
работать с компьютером	+	+	+	+
работать с гаражным оборудованием	+	+		
консультировать клиентов			+	+
<b>Навыки:</b>				
общения, продаж, коммуникации			+	+
качественного выполнения работ	+	+		

Из таблицы 2 видно, что одна часть квалификационных требований (например, знание конструкций устройства автомобиля, специализированных программ) актуальна для всех специалистов, тогда как другая является более узкоспециализированной (например, навыки коммуникации для менеджера).

### Обсуждение

Перечисленные в таблице 2 знания, умения и навыки содержатся в результатах обучения бакалавров 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов. Например, компетенция ПКО-2 содержит требования к знанию особенностей конструкции автомобилей, их характеристик, умению проверять документацию, осуществлять коммуникацию с потребителем, а компетенции ПК-1.1 и ПК-1.2 - требования к оснащению технологических процессов предприятий, в том числе оборудованием, запасными частями и эксплуатационными материалами. Слабее всего в компетентностной модели представлены требования к результатам обучения, связанным с маркетингом и продажами в частности. Требования по навыкам продаж предъявляются к соискателям по вакансиям «менеджер» и «мастер-приемщик». При этом в дисциплинах «Менеджмент и маркетинг автосервиса» и «Экономика сервиса транспортно-технологических машин» данный результат обучения не сформулирован. Они представлены только в разделе универсальных компетенций в части умения осуществлять деловую коммуникацию в целом, не применительно к профессиональной отрасли.

Важно подчеркнуть, что практически все профильные дисциплины сосредоточены на старших курсах (6-8 семестры), тогда как профессиональное самоопределение студентов происходит в первые годы обучения. В связи с этим возможно включать в предметное содержание таких дисциплин, как «Учебно-исследовательская работа», «Деловой иностранный язык», «Деловые коммуникации», а также в программу учебной ознакомительной практики профессионально-ориентированные компоненты, направленные на изучение отраслевого рынка труда, условий работы, банка вакансий, обучение составлять профессиональное резюме, проходить собеседование при трудоустройстве, вести переговоры с клиентами и пр. Кроме того, необходимо уделить больше внимания вариативности образовательных траекторий в рамках ОПОП [18-20].

### Выводы

1. Анализ трендов и тенденций рынка труда является важным инструментом при разработке и актуализации образовательных программ.
2. При составлении содержательной части программ дисциплин, контрольно-измерительных материалов и программ практик важно учитывать наиболее востребованные на рынке труда профессиональные компетенции и качества, что позволит осуществлять непрерывную системную профориентацию и мотивировать студентов.
3. Разработка автоматизированной системы сопоставления и сопряжения корпуса учебно-методической документации с дискурсом трудоустройства, отражающим ведущие тенденции рынка труда является перспективным направлением для исследований.
4. Для программы 23.03.03 можно рекомендовать создание факультативов или дополнительного обучения, связанного с маркетингом и продажами, а также создание возможности для студентов получения рабочей профессии (слесарь 3-го разряда) и опыта работы во время прохождения производственных практик.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Родионова О.А., Воробьева Е.Е. Исследование адаптации выпускников вуза (на примере выпускников медицинского вуза) // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. 2015. №7-6. С. 47-49.
2. Омарова К.А., Элдарова А., Курбанова К. Актуальные проблемы трудоустройства и адаптации выпускников ВУЗов на рынке труда // Региональные проблемы преобразования экономики. 2019. №12(110). С. 240-248.
3. Трудовые ресурсы, занятость и безработица [Электронный ресурс] / Федеральная служба государственной статистики: официальный сайт. URL: [https://rosstat.gov.ru/labour\\_force#](https://rosstat.gov.ru/labour_force#)
4. Репецкий Д.С., Мальцев Д.В. Удовлетворённость обучающихся качеством образовательных услуг технического университета // Высшее образование в России. 2020. №5. С. 45-52.
5. Пец О.И., Даниленко О.Г. Формирование активной жизненной позиции студента – одна из задач высшего профессионального образования // Современная наука. 2015. №2. С. 82-86.
6. Мальцев Д.В. Влияние качества образовательных услуг технического университета на трудоустройство выпускников // Перспективы науки и образования. 2020. №6(48). С. 459-473 .
7. Мальцев Д.В. Развитие механизмов регулирования образовательного процесса студентами высших учебных заведений // Перспективы науки и образования. 2021. №6(54). С. 592-605.
8. Вилюнас В.К. Психологические механизмы мотивации человека. М.: МГУ. 1990. 288 с.
9. Репецкий Д.С., Мальцев Д.В., Лазукова Е. А. Осознанный выбор профессии как доминантный мотив

обучения в университете // Перспективы науки и образования. 2022. №6(60). С. 10-28.

10. Хохлова О.А., Хохлова А.Н., Чойжалсанова А.Ц. Разработка алгоритма анализа вакансий на рынке труда по данным из открытых источников // Вопросы статистики. 2022. Т. 29. №4. С. 33-41.

11. Кунц Е.Ю., Полетайкин А.Н., Фирсов Е.А. Анализ семантической близости требований рынка труда и образовательного контента в условиях импортозамещения // Современное образование: интеграция образования, науки, бизнеса и власти. Трансформация образования, науки и производства - основа технологического прорыва: Материалы международной научно-методической конференции. В 2 ч. Часть 1. Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. 2023. С. 167-172.

12. Харламов А.А., Ле М.Х. Нейросетевые подходы к классификации текстов на основе морфологического анализа // ТРУДЫ МФТИ. 2017. Т. 9. №2(34). С. 143-150.

13. Шишаев М.Г. Нейросетевые модели в задачах семантического анализа текстов на естественном языке // Труды Кольского научного центра РАН. 2020. Т. 11. №8(11). С. 91-100.

14. Дорн Е.В. Применение парсинга и OLAP для определения востребованных языков программирования в Кемеровской области // Фундаментальные и прикладные исследования в информатике и цифровизации: Материалы симпозиума XVIII (L) Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, приуроченной к 50-летию КемГУ. Вып. 15. Кемерово: Кемеровский государственный университет. 2023. С. 70-73.

15. Рынок труда, занятость и заработная плата [Электронный ресурс] / Федеральная служба государственной статистики: официальный сайт. – URL: [https://rosstat.gov.ru/labor\\_market\\_employment\\_salaries](https://rosstat.gov.ru/labor_market_employment_salaries)

16. Вотинов Г.Н., Мальцев Д.В., Репецкий Д.С. Контроль состояния электромагнитных топливных форсунок бензиновых двигателей с системами распределенного впрыска топлива // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2021. Т. 18. №5(81). С. 524-533.

17. Мальцев Д.В. Актуализация образовательных программ по результатам независимой оценки уровня подготовки выпускников университета // Перспективы науки и образования. 2021. №5(53). С. 530-543.

18. Забилов Р.В., Мухаметзянов Ф.Г., Вафина В.Р. Индивидуальная образовательная траектория и субъектный образовательный маршрут студента - будущего бакалавра / Под редакцией Ф.Г. Мухаметзяновой, Р.Ф. Степаненко // Общество, государство, личность: модернизация системы взаимоотношений в России в условиях глобализации: Материалы XV Мужвззовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых (с международным участием). Казань: Университет управления «ТИСБИ». 2015. С. 231-235.

19. Калмыкова С.В., Пустыльник П.Н. Управление процессом формирования индивидуальной образовательной траектории в вузе с использованием электронной образовательной среды // Глобальные риски - локальные решения: Сборник материалов ежегодной международной междисциплинарной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург: ООО «НИЦ АРТ». 2016. С. 362-363.

20. Мальцев Д.В. Проектирование индивидуальной образовательной траектории для повышения конкурентоспособности на рынке труда // Universe of university: Сборник материалов Международной научной интернет-конференции. Екатеринбург: Уральский институт управления - филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации». 2021. С. 167-170.

**Гурьянов Сергей Геннадьевич**

Пермский государственный аграрно-технологический университет

Адрес: 614990, Россия, г. Пермь, ул. Петропавловская, 23

К.т.н., доцент кафедры «Технический сервис и ремонт машин»

E-mail: [gsg9171@yandex.ru](mailto:gsg9171@yandex.ru)

S.G. GURYANOV

## FORMATION OF PROFESSIONAL SKILLS OF SPECIALISTS IN THE OPERATION OF TRANSPORT IN ACCORDANCE WITH THE REQUIREMENTS OF THE LABOR MARKET

**Abstract.** *The article presents the experience of automated analysis of the corpus of job advertisements relevant for graduates of the training direction 23.03.03 «Operation of transport and technological machines and complexes». As part of the study, 20516 vacancies in the automotive business and related sub-sectors were collected and analyzed. The location of vacancies, the average salary are determined, the most frequent requirements for applicants are identified. The results of the analysis are correlated with the main provisions of the educational program, on the basis of which conclusions are drawn about the need for systematic consideration of employers' requirements to improve the quality of training specialists.*

**Keywords:** *labor market, requirements for applicants, transport, auto repair, higher education, university*

## BIBLIOGRAPHY

1. Rodionova O.A., Vorob`eva E.E. Issledovanie adaptatsii vypusnikov vuza (na primere vypusnikov meditsinskogo vuza) // Teoreticheskie i prikladnye aspekty sovremennoy nauki. 2015. №7-6. S. 47-49.

2. Omarova K.A., Eldarova A., Kurbanova K. Aktual'nye problemy trudoustroystva i adaptatsii vypusknikov VUZov na rynke truda // Regional'nye problemy preobrazovaniya ekonomiki. 2019. №12(110). S. 240-248.
3. Trudovye resursy, zanyatost' i bezrobotitsa [Elektronnyy resurs] / Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki: ofitsial'nyy sayt. URL: [https://rosstat.gov.ru/labour\\_force#](https://rosstat.gov.ru/labour_force#)
4. Repetskiy D.S., Mal'tsev D.V. Udovletvorionnost' obuchayushchikhsya kachestvom obrazovatel'nykh uslug tekhnicheskogo universiteta // Vysshee obrazovanie v Rossii. 2020. №5. S. 45-52.
5. Pets O.I., Danilenko O.G. Formirovanie aktivnoy zhiznennoy pozitsii studenta - odna iz zadach vysshego professional'nogo obrazovaniya // Sovremennaya nauka. 2015. №2. S. 82-86.
6. Mal'tsev D.V. Vliyanie kachestva obrazovatel'nykh uslug tekhnicheskogo universiteta na trudoustroystvo vypusknikov // Perspektivy nauki i obrazovaniya. 2020. №6(48). S. 459-473.
7. Mal'tsev D.V. Razvitiye mekhanizmov regulirovaniya obrazovatel'nogo protsessa studentami vysshikh uchebnykh zavedeniy // Perspektivy nauki i obrazovaniya. 2021. №6(54). S. 592-605.
8. Vilyunas V.K. Psikhologicheskie mekhanizmy motivatsii cheloveka. M.: MGU. 1990. 288 s.
9. Repetskiy D.S., Mal'tsev D.V., Lazukova E. A. Osoznannyi vybor professii kak dominantnyy motiv obucheniya v universitete // Perspektivy nauki i obrazovaniya. 2022. №6(60). S. 10-28.
10. Hokhlova O.A., Hokhlova A.N., Choyzhalsanova A.TS. Razrabotka algoritma analiza vakansiy na rynke truda po dannym iz otkrytykh istochnikov // Voprosy statistiki. 2022. T. 29. №4. S. 33-41.
11. Kunts E.Yu., Poletaykin A.N., Firsov E.A. Analiz semanticheskoy blizosti trebovaniy rynka truda i obrazovatel'nogo kontenta v usloviyakh importozameshcheniya // Sovremennoe obrazovanie: integratsiya obrazovaniya, nauki, biznesa i vlasti. Transformatsiya obrazovaniya, nauki i proizvodstva - osnova tekhnologicheskogo proryva: Materialy mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii. V 2 ch. Chast' 1. Tomsk: Tomskiy gosudarstvennyy universitet sistem upravleniya i radioelektroniki. 2023. S. 167-172.
12. Harlamov A.A., Le M.H. Neyrosetevye podkhody k klassifikatsii tekstov na osnove morfologicheskogo analiza // TRUDY MFTI. 2017. T. 9. №2(34). S. 143-150.
13. Shishaev M.G. Neyrosetevye modeli v zadachakh semanticheskogo analiza tekstov na estestvennom yazyke // Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN. 2020. T. 11. №8(11). S. 91-100.
14. Dorn E.V. Primenenie parsinga i OLAP dlya opredeleniya vostrebovannykh yazykov programmirovaniya v Kemerovskoy oblasti // Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya v informatike i tsifrovizatsii: Materialy simpoziuma XVIII (L) Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh, priurochennoy k 50-letiyu KemGU. Vyp. 15. Kemerovo: Kemerovskiy gosudarstvennyy universitet. 2023. S. 70-73.
15. Rynok truda, zanyatost' i zarabotnaya plata [Elektronnyy resurs] / Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki: ofitsial'nyy sayt. - URL: [https://rosstat.gov.ru/labor\\_market\\_employment\\_salaries](https://rosstat.gov.ru/labor_market_employment_salaries)
16. Votinov G.N., Mal'tsev D.V., Repetskiy D.S. Kontrol' sostoyaniya elektromagnitnykh toplivnykh forsunok benzinovykh dvigateley s sistemami raspredelennoy vpryska topliva // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta. 2021. T. 18. №5(81). S. 524-533.
17. Mal'tsev D.V. Aktualizatsiya obrazovatel'nykh programm po rezul'tatam nezavisimoy otsenki urovnya podgotovki vypusknikov universiteta // Perspektivy nauki i obrazovaniya. 2021. №5(53). S. 530-543.
18. Zabirov R.V., Mukhametzyanov F.G., Vafina V.R. Individual'naya obrazovatel'naya traektoriya i sub"ektnyy obrazovatel'nyy marshrut studenta - budushchego bakalavra / Pod redaktsiye F.G. Mukhametzyanovoy, R.F. Stepanenko // Obshchestvo, gosudarstvo, lichnost': modernizatsiya sistemy vzaimootnosheniy v Rossii v usloviyakh globalizatsii: Materialy HV Muzhvuzovskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, magistrantov, aspirantov i molodykh uchenykh (s mezhdunarodnym uchastiem). Kazan': Universitet upravleniya «TISBI». 2015. S. 231-235.
19. Kalmykova S.V., Pustyl'nik P.N. Upravlenie protsessom formirovaniya individual'noy obrazovatel'noy traektorii v vuze s ispol'zovaniem elektronnoy obrazovatel'noy sredy // Global'nye riski - lokal'nye resheniya: Sbornik materialov ezhegodnoy mezhdunarodnoy mezhdistsiplinarnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Sankt-Peterburg: OOO «NITS ART». 2016. S. 362-363.
20. Mal'tsev D.V. Proektirovanie individual'noy obrazovatel'noy traektorii dlya povysheniya konkurentosposobnosti na rynke truda // Universe of university: Sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchnoy internet-konferentsii. Ekaterinburg: Ural'skiy institut upravleniya - filial Federal'nogo gosudarstvennogo byudzhethnogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego obrazovaniya «Rossiyskaya akademiya narodnogo khozyaystva i gosudarstvennoy sluzhby pri Prezidente Rossiyskoy Federatsii». 2021. S. 167-170.

**Guryanov Sergey Gennadievich**

FSBEI HE Perm SATU

Address: 614990, Russia, Perm, Petropavlovsk str., 23

Candidate of technical sciences

E-mail: [gsg9171@yandex.ru](mailto:gsg9171@yandex.ru)

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья

УДК 656:711

doi:10.33979/2073-7432-2024-1-1(84)-119-130

Д.В. КАПСКИЙ, С.В. БОГДАНОВИЧ, С.А. ЛЯПИН

### ДИЗАЙН ГОРОДА И «ТРАНСПОРТНЫЙ» ПРОГРЕСС, ОБУСЛОВЛЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ СДВИГОМ

***Аннотация.** Технологический прогресс всегда влиял на развитие городов. Сейчас на смену традиционным автомобилям приходят беспилотные, что может привести к изменениям в городской среде. Сегодня ключевыми трендами являются: автоматизация, совместное использование, электрификация, подключение и виртуализация транспорта. Их конвергенция может привести к системным изменениям. Но пока рано говорить о полной замене личных автомобилей. Городское планирование должно ориентироваться на цели устойчивого развития, обеспечивая доступность, безопасность и экологичность транспорта для всех. При этом внедрение беспилотников может привести как к позитивным, так и к негативным эффектам. Задача проектировщиков - максимизировать первые и минимизировать вторые. Для этого нужны четкие ориентиры и гибкий подход, учитывающий системную взаимосвязь городской формы и транспортных потоков.*

***Ключевые слова:** беспилотные транспортные средства, городское планирование, устойчивое развитие, технологические тренды, транспорт будущего*

#### **Введение**

На протяжении истории технологический прогресс оказывал огромное влияние на развитие городов и их транспортных систем. Каждое крупное технологическое нововведение в сфере транспорта накладывало значительный отпечаток на облик городов, их инфраструктуру и организацию передвижения людей (табл. 1).

В настоящее время человечество стоит на пороге очередной транспортной революции, связанной с переходом к массовому использованию беспилотных транспортных средств. Это может кардинально изменить привычную городскую среду. Однако опыт прошлого подсказывает, что при внедрении новых технологий необходимо проявлять осторожность, чтобы не повторять ошибок, когда города проектировались вокруг автомобилей, а не людей.

Если посмотреть на историю XX века, то изобретатели и градостроители часто завышали ожидания от новых транспортных средств, предвещая радикальное улучшение городской жизни. Однако на практике это зачастую приводило к негативным последствиям для городов и их жителей. Например, массовое распространение личных автомобилей вызвало много проблем, включая загрязнение воздуха, заторы, гибель людей в ДТП. При проектировании городов интересы автовладельцев часто ставились выше интересов других групп населения.

Сейчас на передний план выходит несколько ключевых технологических трендов, таких как автоматизация, совместное использование, электрификация, подключение и виртуализация транспорта. Их сочетание и конвергенция в ближайшие 10-20 лет способны вызвать по-настоящему революционные изменения городских транспортных систем. Однако в то же время преждевременно говорить о полном исчезновении традиционных личных автомобилей с улиц городов.

С точки зрения городского планирования и проектирования, ключевой ориентир должны по-прежнему составлять цели устойчивого развития городов, а не только внедрение новейших технологий.

Это подразумевает создание доступной, безопасной и экологичной транспортной системы, удобной для всех групп населения, включая маломобильные и социально незащищенные. Приоритет должен отдаваться маршрутному пассажирскому транспорту (МПТ), пешеходной и велосипедной инфраструктуре. При этом внедрение беспилотных технологий несет в себе как позитивные возможности, так и потенциальные риски негативных эффектов.

Задача урбанистов и транспортных планировщиков - максимально реализовать преимущества беспилотных технологий и свести к минимуму возможные отрицательные последствия. Для этого необходимо учитывать взаимосвязь городской застройки и транспортных потоков, проектировать города для людей, а не подстраивать их под технологии. Важно не повторять ошибок прошлого, когда интересы автовладельцев ставились во главу угла.

Таблица 1 - Технологии и городское развитие [1]

Период	Технологии	Городская форма и развитие
Раннеиндустриальный (1820-1869)	Железная дорога	Первоначальный рост городов (например, приток населения в города)
Постиндустриальный (1870-1919)	Электричество, Лифт, Телефон, Автомобиль	Расширение городов, начало расселения городов и развития пригородов (субурбанизация)
Мегаполис массового производства (1920-1969)	Дорожное строительство (например, автомагистралей)	Массовая жилая субурбанизация, начало коммерческой субурбанизации
Пост-мегаполис (1970-настоящее время)	Персональный компьютер, ИКТ (например, Интернет, дополненная и виртуальная реальность, автоматизация управления /вождения и пр.)	Децентрализация мегаполисов (например, полицентричность пригородных центров занятости), оживление городов с помощью технологических достижений, глобальная городская сеть

Для успешного внедрения беспилотных технологий требуется комплексный междисциплинарный подход с участием градостроителей, инженеров, экологов, экономистов, социологов и специалистов многих других областей. Необходим тесный диалог между городскими властями, научным сообществом, бизнесом и общественными организациями.

Цель данной работы - проанализировать потенциальное влияние внедрения беспилотных транспортных средств на развитие городов и предложить рекомендации по городскому планированию с учетом новых технологических тенденций.

#### **Материал и методы**

В качестве материалов для анализа использованы научные публикации, обзорные статьи и аналитические отчеты по тематике внедрения беспилотных транспортных средств и влияния новых технологий на развитие городов.

Методы исследования включали:

- анализ литературы по историческому опыту внедрения транспортных инноваций (железные дороги, автомобили, цифровые технологии) и их влияния на городское развитие;
- изучение современных тенденций в сфере беспилотных транспортных средств и других передовых технологий (искусственный интеллект, IoT);
- выявление потенциальных положительных и отрицательных эффектов от внедрения беспилотного транспорта с использованием методов сценарного прогнозирования;
- формулирование рекомендаций для городских властей и планировщиков по интеграции беспилотных технологий в транспортные системы городов на основе принципов устойчивого развития.

Исторический опыт показывает, что новые транспортные технологии часто воспринимались с чрезмерным оптимизмом, что впоследствии приводило к разочарованию. В начале XX века появление автомобилей рассматривалось как панацея для городов, позволяющая избавиться от проблем, создаваемых гужевым транспортом. Это подтолкнуло архитекторов и урбанистов к проектированию городов вокруг автомобилей. Например, Корбюзье в своем проекте «Солнечный город» 1930 года предложил полное разделение пешеходов и транспорта на разных уровнях, отдавая приоритет автомобилям (рис. 1).

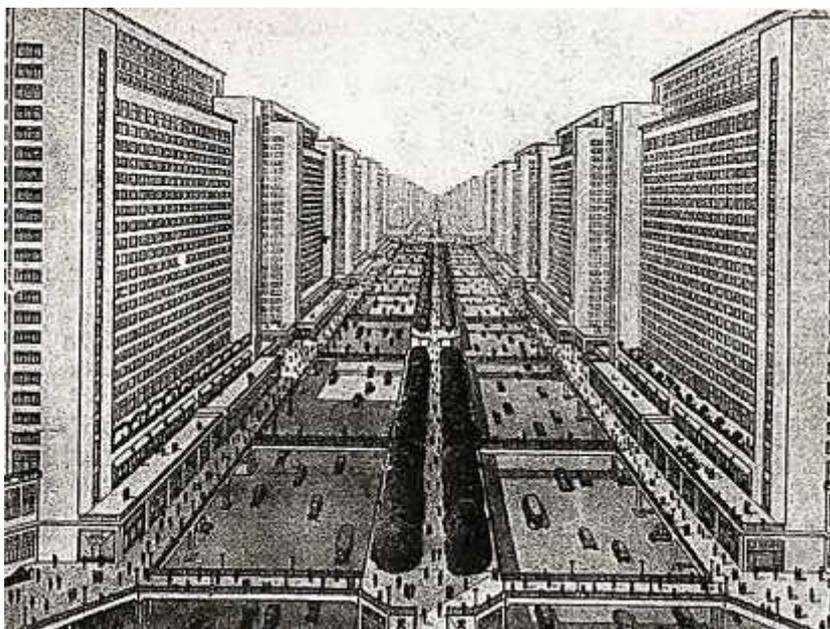


Рисунок 1 – Вариант городского дизайна Корбюзье [2]

Первые концепции беспилотных автомобилей также появились в 1920-1940-х годах. На Всемирной выставке «Футурама», проводимой компанией GM, были озвучены новые видения развития городские территорий, вдохновленные перспективами беспилотного автомобиля: Norman Bel Geddes (Норман Бел Геддес) представил модель будущего американского города с автоматизированными шоссе и беспилотными автомобилями (рис. 2).



Рисунок 2 – Модель города будущего [3]

После Второй мировой войны идея автомобилизации получила новый импульс. Строительство межштатных автомагистралей в США в 1950-60-х годах привело к бурному развитию пригородов. Популярное телешоу Диснея 1958 года пропагандировало концепцию беспилотников, усиливая веру в то, что автомобили - ключ к прогрессу (рис. 3).

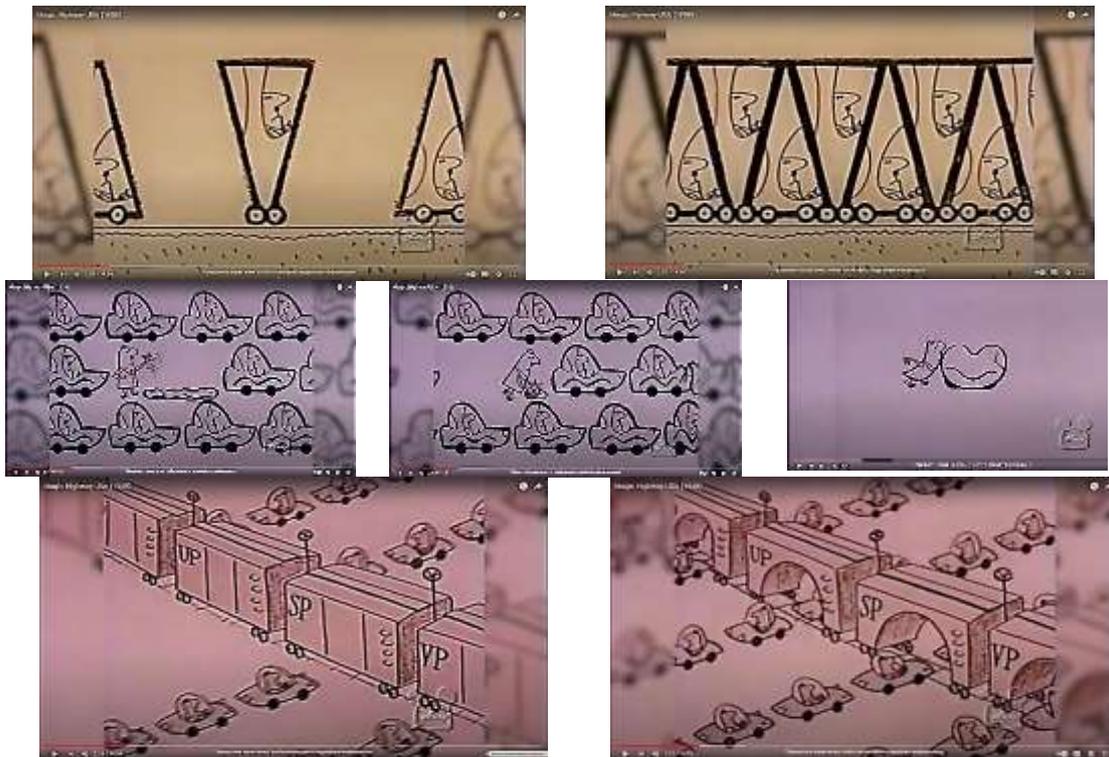


Рисунок 3 – Кадры из мультфильма «Волшебное шоссе» [Kimball, W. (Director) (1958) [4]

Мультфильм изображает передовые концепции середины прошлого века для беспилотных автомобилей, заставлявших проектировщиков проектировать и дальше города и страны именно вокруг автомобиля. Видно на кадрах, как беспилотные автомобили интегрируются в единую «цепь» (состав), поскольку они созданы таким образом, чтобы складываться вместе, как пазл, высвобождая дополнительное место на проезжей части для еще большего их количества (верхние кадры); сдувать и надувать по желанию – находясь в «пробке» из-за аварии, сдув и свернув индивидуальный автомобиль, водитель может обойти «узкий» участок и на свободном месте, надув автомобиль, продолжить движение (кадры посередине); или создавать зазоры, позволяющие проехать другим транспортным средствам – возможности адаптации подвижного состава и строгой дистанции позволяют сделать поток движения беспилотных автомобилей непрерывным (нижние кадры). Удивительно осознавать, но многие из чудес инженерной мысли от электромобилей до Hyperloop, которые мы только начинаем видеть, на самом деле были давным-давно предсказаны никем иным, как Уолтом Диснеем. В конце описанного выше эпизода «Волшебное шоссе» Дисней представляет отрывок, в котором он описывает футуристические концепции как «реалистичный взгляд на путь вперед и на то, что завтрашние автомобилисты могут ожидать в ближайшие годы». Удостоились внимания путешествия на метро, автономные транспортные средства, панели приборов со встроенными средствами безопасности и электронными управляющими устройствами (помощники водителя и сенсорные системы), обновления трафика и изменений дорожно-транспортной ситуации в режиме реального времени, а также другая информация, например рекомендуемая скорость на лобовом стекле, навигационные системы, замена зеркал (боковых и заднего вида) на «телевизионное изображение», трансформация автомобилей с движения по суше на плавание по воде, «трубчатые шоссе», индивидуальные «раскатываемые» дороги в любой местности и много другое [5]. Некоторые из самых смелых предсказаний, представленных Диснеем, уже существуют сегодня, а некоторые мы увидим в будущем. Например, российскими учеными проведены испытания «раскатываемой» дороги (скатываемый в рулон лист тонкой, специальной тонкой металлической фольги), которая прокладывается по болтам и позволяет за счет собственного веса и натяжения держать вес даже большегрузных автомобилей. Видение Диснея беспилотных транспортных средств было гораздо бо-

лее впечатляющим, чем то, над чем компании работают сегодня (например, по задумке Диснея транспортные средства, представленные в мультфильме, могут разделяться на части, позволяя каждому пассажиру добраться до пункта назначения в отдельной капсуле; см. рисунок 3, верхняя часть). Однако уже в 1960-х годах стало ясно, что автомобилецентричный подход ведёт к негативным последствиям для городской среды и жителей. Урбанисты Дж. Джекобс, Л. Мамфорд и К. Александер подвергли критике идею «города на шоссе», признав, что новые технологии сами по себе не улучшат ситуацию [6]. Началась эпоха разочарования в личном автомобиле. Но инерция автомобилизации сохранялась. Как отмечал социолог Дж. Урри, общество оказалось заключено в «систему автомобильной мобильности» - модель развития городов и инфраструктуры, центрированную на авто. Лишь крупные «поворотные моменты» могут это изменить [7].

Переход к беспилотному транспорту. Беспилотные автомобили уже развернуты на дорогах Европы, Сингапура и около 30 городов в США. Китай также поставил цель добиться полной автономности для 10% всех транспортных средств к 2030 году. Хотя ожидается, что полностью автоматизированные транспортные средства изменят транспортные системы, более осторожные авторы полагают, что потребуются несколько десятилетий, прежде чем преимущества автоматизированных транспортных средств смогут быть реализованы.

Многие факторы, помимо состояния самой технологии, такие как социально-экономические условия, городской дизайн и среда, определяют укоренение применения технологии в обществе, и еще слишком рано предсказывать, будет ли технология беспилотных транспортных средств развиваться в таких же масштабах, как личный автомобиль. Этот тезис исходит из того, что технологический сдвиг в транспорте может разрушить действующую систему автомобильного транспорта и создать новые, более удобные для людей устойчивые модели мобильности. Но уже очевидно, что городской дизайн очень зависит от технологического сдвига, который наметился в городском транспорте. По сути, сейчас начинается период, когда «города строят вокруг технологий» [8].

Технологии автоматизации существуют давно, но не могли быть реализованы из-за отсутствия других инноваций. Сегодня достижения в сфере интернета вещей (IoT), сенсорики, облачных вычислений позволяют преодолеть эту «проблему Да Винчи» и воплотить концепцию беспилотника.

Однако, глядя в прошлое, стоит избегать излишнего оптимизма. Пока автоматизация транспорта находится лишь на 3 уровне из 5. Полная замена водителей произойдёт не скоро. Да и совместное использование авто может привести к росту пробок из-за «порожних» поездов. Так что рано говорить о революции.

С точки зрения устойчивого развития городов, приоритетом является обеспечение доступной и безопасной мобильности для всех. Как отмечается в документах ООН и ЕС, важнейшая роль должна отводиться МПТ, пешеходам и велосипедистам. Эти принципы должны лежать в основе внедрения новых технологий.

Для проектировщиков очень важно понимать, что беспилотные транспортные средства требуют соответствующей инфраструктуры и подключаться к ней соответствующим образом. Вместе с тем возможность подключения сама по себе не означает, что транспортное средство будет автоматизировано, но полностью автоматизированные автомобили требуют подключения. Подключенные автомобили (CV) относятся к транспортным средствам с возможностью беспроводного подключения, которые могут взаимодействовать со своей внутренней и внешней средой, например, с другими транспортными средствами на улице, дорожной инфраструктурой, информацией в облаке и слабозащищенными участниками дорожного движения через различные интернет-технологии и сенсорные технологии («Интернетом транспортных средств» (IoV)) [9]. Система мобильной связи динамично обеспечивает сбор, обмен, обработку, быстрые вычисления и безопасную передачу данных. Системы автоматизированного вождения используют различные датчики для мониторинга дорожной обстановки и условий движения, а также для внутренней обработки этих данных. Однако полная ав-

томатизация станет возможной только при объединении технологий датчиков и подключенных устройств.

Уже сейчас получает развитие «Интернета транспортных средств и мест» (IoVP) (Internet of Vehicles and Places): подключенные транспортные средства - это дорожная среда, в которой беспроводная связь позволяет автомобилям автономно общаться между собой (V2V) и со стационарными объектами, такими как дорожные светофоры (V2I). V2I требует, чтобы как автомобили, так и места, такие как дома или общественные пространства, были оснащены соответствующими технологиями для подключения (такими как LiDAR (технология оптического дистанционного зондирования), GPS (спутниковая навигационная система), DGPS (более точный GPS с точностью определения местоположения до 10 см), RTK (кинематика реального времени) и цифровые двойники / карты [10].

Когда датчики, исполнительные механизмы и виртуальная информация встроены в беспилотные автомобили, проезжую часть, тротуары, дорожную разметку и светофоры, обмен информацией может осуществляться в режиме реального времени, что повышает эффективность всей транспортной сети. Более того, в некоторых случаях речь уже идет о возможности общения с виртуальными светофорами и дорожными знаками, разметкой, которая физически, в существующем понимании отсутствует, а есть только в цифровом исполнении (реальности) (рис. 4). При внедрении беспилотных технологий важно понимать, что они могут принести как пользу, так и вред, если не учитывать возможные негативные эффекты. С одной стороны, автоматизация позволит повысить скорость и снизить аварийность за счет исключения человеческого фактора. Совместное использование автомобилей сократит их количество на дорогах.



*Рисунок 4 – Подключенная транспортная реальность [11]*

### **Расчет**

Для оценки потенциального влияния беспилотных транспортных средств на развитие городов были использованы результаты следующих расчетов:

- 1) расчет прогнозируемого роста количества беспилотных автомобилей к 2030 году на основе текущих темпов внедрения технологий автоматизированного вождения автопроизводителями;
- 2) оценка возможного сокращения количества частных автомобилей за счет перехода к модели совместного использования беспилотного транспорта (каршеринг);
- 3) моделирование изменения транспортных потоков в городах при различных сценариях внедрения беспилотных технологий с использованием программных симуляторов;
- 4) расчет прогнозируемого снижения выбросов CO<sub>2</sub> от автотранспорта при переходе к

использованию электромобилей-беспилотников.

Полученные количественные оценки легли в основу выработки рекомендаций по адаптации стратегий пространственного развития городов к новым технологическим реалиям.

По прогнозам экспертов, количество беспилотных автомобилей в ближайшие годы будет расти ускоренными темпами. К 2030 году на дорогах мира будет ездить около 20 миллионов беспилотных автомобилей, а к 2040 году их количество достигнет 100 миллионов [12, 13]. Основными факторами, способствующими росту рынка беспилотных автомобилей, являются развитие технологий беспилотного вождения, нормативно-правовой базы, а также коммерческий потенциал использования беспилотных автомобилей.

Электрификация беспилотного транспорта имеет потенциал значительно сократить выбросы парниковых газов. По данным Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (IRENA), электромобили производят в среднем на 60-68 % меньше выбросов CO<sub>2</sub>, чем автомобили с бензиновым двигателем [14].

Беспилотные автомобили также могут помочь сократить выбросы CO<sub>2</sub> за счет более эффективного использования топлива. Такие автомобили могут ездить ближе друг к другу, что снижает аэродинамическое сопротивление и экономит топливо. Они также могут быть более эффективными в использовании тормозов и ускорения [15].

На основе программных симуляторов (PTV Vissim, SUMO) промоделированы изменения интенсивности и скорости транспортных потоков в городах при консервативном сценарии внедрения беспилотных технологий (низкие темпы автоматизации и электрификации), умеренном сценарии, радикальном сценарии (высокие темпы внедрения) [16, 17].

Результаты моделирования изменения интенсивности и скорости транспортных потоков в городах при различных сценариях внедрения беспилотных технологий показывают, что внедрение беспилотных технологий может привести к значительному улучшению пропускной способности дорог и снижению заторов.

В частности, исследования показали, что при полном переходе на беспилотные автомобили интенсивность транспортного потока может увеличиться на 20-30 %, а скорость движения - на 10-20 %. Это связано с тем, что беспилотные автомобили могут более эффективно использовать пространство дороги, а также избегать аварий и пробок.

Конкретные результаты моделирования зависят от различных факторов, таких как тип дорог, интенсивность движения, размер города и другие. Однако в целом можно сказать, что внедрение беспилотных технологий может иметь положительное влияние на транспортную ситуацию в городах.

### ***Результаты и обсуждение***

Перспективные технологии могут способствовать развитию городов, ориентированному на автомобили. Вместо того, чтобы практиковать экологичное вождение, беспилотные автомобили могут двигаться с более высокими скоростями, чем сегодня, что приводит к выигрышу во времени, но к большему расходу топлива, если их не заменить на электрические. Совместное использование транспортных средств может привести к уменьшению количества транспортных средств на улицах, но «порожние» поездки могут привести к увеличению заторов и также расходу топлива. Изменение стоимости времени в пути на автомобиле может привести к индуцированному спросу и опять-таки изменениям в выборе места жительства и работы, что приведет к разрастанию городов. Скрытый спрос со стороны тех слоев населения, которые в настоящее время не могут водить машину, также увеличит индуцированный спрос (табл. 2).

В процессе максимизации преимуществ для одной группы пользователей или цели мобильности могут пострадать другие группы пользователей или цели мобильности. Например, реальные преимущества группового движения не могут быть реализованы, если не свести к минимуму количество остановок и торможений или максимально увеличить расстояние между перекрестками, что, в свою очередь, может привести к увеличению пройденного расстояния для пешеходов. Да и перекрестки не подходят все же для безопасного и комфортного движения пешеходов и велосипедистов. Эти наблюдения указывают на усиление

сегрегации инфраструктуры по видам транспорта, что напоминает модернистские представления об «автомобильных» городах. Поэтому проектировщику важно понимать приоритет устойчивого городского развития и ощущать ориентиры для соответствующего уровня обслуживания с конкретными индикаторами для их измерения.

Таблица 2 – Положительные и отрицательные стороны внедрения беспилотных и иных передовых технологий для транспортных систем городов и мегаполисов (составлено на основании [8])

Отрицательная сторона	Фактор / Параметр / объект	Положительная сторона
Увеличение трафика из-за вынужденного спроса, скрытого спроса. Медленное движение из-за чрезмерной осторожности при вождении беспилотных автомобилей.	Транспортные потоки	Преимущества от эффективного вождения, «платуинга» (караванного беспилотного вождения). Меньше транспортных средств на улице из-за совместного использования транспортных средств. Повышение производительности сети благодаря подключенным транспортным средствам и инфраструктуре
Опасность расползания, большие расстояния поездок из-за лучшего использования времени в автомобиле. Это может привести к дальнейшему неравенству в ценах на землю. Больше транспортных средств на улицах из-за стимулированного спроса	Использование пространства	Лучшее использование дорожного пространства – как в поперечном, так и в продольном направлении. Для парковки требуется меньше места. Преимущества подключенных транспортных средств к перекресткам и пропускной способности дорог
Увеличение пробега транспортных средств за счет индуцированного и скрытого спроса. Длительное время в пути из-за подключения пригорода. Возможно большее количество поездок на автомобиле из-за комфортности	Выбросы вредных веществ и шум	Меньше выбросов и шума за счет экологичного вождения, группового движения, электрификации транспортных средств, адаптированных транспортных средств, более высокой загрузки транспортных средств за счет совместного использования
Динамически маршрутизируемый транзит может снизить долю активной мобильности. Конкуренция со службами доставки «от двери до двери» может снизить долю использующих МПТ (долю транзита)	Маршрутный пассажирский транспорт / транзит	Улучшен доступ к транзиту. Транзит может стать доступнее за счет исключения затрат на водителя и экономии топлива
Поскольку общие AV-системы становятся более удобными и дешевыми, активная мобильность может стать менее привлекательной. Пешеходы и велосипедисты затрудняют мобильность беспилотных автомобилей и могут быть изолированы или вытеснены.	Активная мобильность	Транспортные средства ездят более безопасно, создают лучшие условия для уязвимых слоев населения участники дорожного движения. Электромобили создают меньше шума и загрязнения воздуха, улучшение уличной среды. Дорожное пространство, сэкономленное за счет автоматизации и совместного использования транспортных средств, может быть использовано для расширения инфраструктуры активной мобильности.
Абсолютная разница в стоимости автобусов и такси может сделать МПТ менее жизнеспособным и более дорогостоящим. Высокая стоимость инфраструктурной зарядки, IoV. Рассредоточение населения может привести к еще большему неравенству в стоимости недвижимости.	Экономическая доступность	Первоначальная цена покупки беспилотных автомобилей может быть выше, но эксплуатационные расходы на совместно используемые транспортные средства и такси будут ниже. Первоначальная цена покупки совместно используемых AV-автомобилей может быть ниже, поскольку для обслуживания того же количества поездок требуется меньше транспортных средств. Стоимость аренды совместного транспорта будет меньше, чем стоимость владения AV.

Беспилотные автомобили предъявляют новые требования к существующей транспортной инфраструктуре и пассивно повлияют на город, его физическую форму и транспортные потоки. Дороги должны быть оборудованы датчиками, разметкой, цифровыми картами высо-

кой точности. Понадобится стандартизация технологий. Беспилотники предъявят новые требования к парковочным пространствам.

Можно констатировать, что, как и ранее, между городской формой и транспортными потоками имеется четкая взаимосвязь: транспортные потоки накладывают пространственный отпечаток, городская форма стимулирует транспортные потоки; изменение городского дизайна меняет поведение туристов и жителей; а изменение транспортных технологий меняет городскую форму, надеемся, к лучшему.

Более высокие скорости приведут к росту выбросов CO<sub>2</sub>. Удешевление поездок спровоцирует спрос, что усилит загруженность дорог. «Порожние» поездки вызовут дополнительные пробки. Также возрастет нагрузка на инфраструктуру в спальных районах.

Чтобы минимизировать негативные эффекты, градостроители могут использовать различные подходы. Например, ограничить скорость беспилотников в городе, сделав улицы пригодными скорее для людей, чем для машин. Формировать жилые кварталы высокой плотности со смешанным использованием, чтобы сократить поездки. Развивать беспилотный маршрутный пассажирский транспорт вместо расширения дорог.

При этом важно понимать, что беспилотные авто - это не панацея, а лишь элемент транспортной системы. Как отмечал архитектор К. Александер, новые технологии сами по себе не сделают города лучше, пока в их основе не будут лежать гуманистические ценности.

Нынешние технологические тренды действительно содержат потенциал для системной трансформации транспорта. Автоматизация транспортных средств должна сочетаться с их электрификацией и переходом к модели совместного использования. Массовое распространение этих инноваций возможно лишь при условии развития городской среды и инфраструктуры с учетом их особенностей.

### **Выводы**

Внедрение беспилотных транспортных средств открывает значительные возможности для развития городов, но также несет в себе риски повторения ошибок прошлого, если не учитывать исторический опыт и слепо полагаться на технологический прогресс [18, 19].

Чтобы максимально использовать потенциальные преимущества беспилотников и минимизировать возможные негативные последствия, необходим комплексный подход, включающий следующие аспекты:

- во-первых, при планировании городского развития ключевым ориентиром должны оставаться цели устойчивого развития, а не только внедрение новых технологий. Прежде всего, нужно обеспечить доступность, безопасность и экологичность транспортной системы для всех групп населения. Приоритет следует отдавать МПТ, пешеходам и велосипедистам. Беспилотники должны дополнять, а не заменять эти виды передвижения;

- во-вторых, важно избегать чрезмерных ожиданий и завышенных обещаний относительно новых технологий. Необходим поэтапный подход к внедрению беспилотных автомобилей с тщательной оценкой всех кратко- и долгосрочных последствий на каждом этапе. Следует проводить пилотные проекты и анализировать полученный опыт;

- в-третьих, проектировщики и планировщики должны учитывать системную взаимосвязь между городской формой и транспортными потоками. Необходимо создавать жилые районы компактной застройки, чтобы сократить необходимость в поездках на дальние расстояния. Важно проектировать города для людей, а не подстраивать их под потребности беспилотных автомобилей;

- в-четвертых, в условиях неопределенности ключевым является создание гибких адаптивных транспортных систем, которые можно быстро модернизировать и масштабировать в ответ на новые вызовы. Необходимо разрабатывать различные сценарии развития и закладывать возможности для их реализации в городскую инфраструктуру;

- в-пятых, оптимальным представляется использование смешанных подходов, сочетающих традиционный маршрутный пассажирский транспорт и новые технологии, такие как беспилотные автобусы, такси, каршеринг, что позволит извлечь преимущества из всех видов транспорта.

Реализация этих принципов требует консолидации усилий градостроителей, инженеров, экологов, экономистов, социологов и других специалистов. Только комплексный междисциплинарный подход позволит в полной мере использовать возможности, открываемые технологическим прогрессом в сфере беспилотного транспорта. Это даст шанс создать настоящему «умные» города будущего, которые будут максимально комфортны и удобны для жизни каждого человека [20].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Maeng D.-M., Nedović-Budić Z. Urban form and planning in the information age: Lessons from literature / *Spatium*. 2008. №17 (17-18). P. 1-12.
2. Kohlstedt Kurt. Ville Radieuse: Le Corbusier's Functionalist Plan for a Utopian «Radiant City» [Электронный ресурс]. URL: <https://99percentinvisible.org/article/ville-radieuse-le-corbusiers-functionalist-plan-utopian-radiant-city/>. Дата обращения: 06.11.2023.
3. Geddes N.B. Magic motorways [Electronic resource]. URL: <https://ia600704.us.archive.org/2/items/magicmotorways00geddrich/magicmotorways00geddrich.pdf>. 06.11.2023.
4. Magic Highway U.S.A. The Disneyland Show. United States [Электронный ресурс]: Walt Disney Films. URL: [https://www.youtube.com/watch?v=Iqq2bfDPRo8&ab\\_channel=JohnCorigliano](https://www.youtube.com/watch?v=Iqq2bfDPRo8&ab_channel=JohnCorigliano). Дата обращения: 06.11.2023.
5. Thompson Cadie: Disney predicted the future of transportation in 1958 and was eerily correct on a lot of things [Электронный ресурс]. URL: <https://www.businessinsider.com/walt-disneys-magic-highway-predictions-in-1958-2015-9>. Дата обращения: 06.11.2023.
6. Cannon R.H. Transportation, automation, and societal structure // *Proceedings of the IEEE*. Vol. 61. №5. 1973. P. 518-525.
7. Urry J. The 'System' of Automobility. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.researchgate.net/publication/258192332\\_The\\_%27System%27\\_of\\_Automobi](https://www.researchgate.net/publication/258192332_The_%27System%27_of_Automobi). Дата обращения: 06.11.2023.
8. Maheshwari Tanvi. An urban design response to the technological shift in transportation [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.researchcollection.ethz.ch/bitstream/handle/20.500.11850/448978/20201019\\_ThesisPacka](https://www.researchcollection.ethz.ch/bitstream/handle/20.500.11850/448978/20201019_ThesisPacka) Дата обращения: 06.11.2023.
9. Lu N., Cheng N., Zhang N., Shen X., Mark J.W. Connected Vehicles: Solutions and Challenges // *IEEE Internet of Things Journal*. 2014. №1. P. 289-299.
10. Javanshour F., Development and evaluation of simulation models for shared autonomous mobility on-demand systems. [Электронный ресурс]. 2019. URL: [https://researchbank.swinburne.edu.au/file/6bf1a980-8499-41ab-b027-f994aa372468/1/farid\\_javanshour\\_thesis.pdf](https://researchbank.swinburne.edu.au/file/6bf1a980-8499-41ab-b027-f994aa372468/1/farid_javanshour_thesis.pdf). Дата обращения: 06.11.2023.
11. BIG Unveils a Driverless World of the Future Complete With Solar-Powered Streets [Электронный ресурс]. URL: <https://inhabitat.com/big-unveils-a-driverless-world-of-the-future-complete-with-solar-powered-streets/big-driverless-world-3/>. Дата обращения: 06.11.2023.
12. Klaver F. The economic and social impacts of fully autonomous vehicles [Электронный ресурс]. URL: <https://www.compact.nl/pdf/C-2020-4-Klaver.pdf> / . Дата обращения: 06.11.2023.
13. McKinsey Center for Future Mobility. The future of mobility is at our doorstep. Compendium 2019/2020 [Электронный ресурс]. URL: [https://www.mckinsey.com/~/\\_media/McKinsey/Industries/Automotive%20and%20A](https://www.mckinsey.com/~/_media/McKinsey/Industries/Automotive%20and%20A). Дата обращения: 06.11.2023
14. Electric vehicles. Technology brief [Электронный ресурс]. URL: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/IRENA\\_Electric\\_Vehicles\\_2017.pdf?rev=a5d68dbd343a43f289b667e97a9cd212](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/IRENA_Electric_Vehicles_2017.pdf?rev=a5d68dbd343a43f289b667e97a9cd212). Дата обращения: 06.11.2023.
15. Tolga Ercan, Nuri C. Onat, Nowreen Keya, Omer Tatari, Naveen Eluru, Murat Kucukvar, Autonomous electric vehicles can reduce carbon emissions and air pollution in cities, *Transportation Research Part D [Электронный ресурс] // Transport and Environment*. Vol. 112. 2022. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103472>.
16. Ji Eun Park, Wanhee Byun, Youngchan Kim, Hyeonjun Ahn, Doh Kyoum Shin. The Impact of Automated Vehicles on Traffic Flow and Road Capacity on Urban Road Networks [Электронный ресурс] // *Journal of Advanced Transportation*. Vol. 2021. Article ID 8404951. 10. P. 2021. URL: <https://doi.org/10.1155/2021/8404951>.
17. Qiong Lu, Tamás Tettamanti, Dániel Hörcher & István Varga. The impact of autonomous vehicles on urban traffic network capacity: an experimental analysis by microscopic traffic simulation // *Transportation Letters*. 2020. 12:8. 540-549. DOI: 10.1080/19427867.2019.1662561.
18. Основы автоматизации интеллектуальных транспортных систем: Учебник / Д.В. Капский, Е.Н. Кот, С.В. Богданович [и др.]. Вологда: ООО «Издательство «Инфра-Инженерия», 2022. 412 с.
19. Подключенные автомобили в интеллектуальных транспортных системах умных городов / С.А. Ляпин, Д.В. Капский, Ю.Н. Ризаева, Д.А. Кадасев // *Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте: Сборник статей МНПК*. Липецк: Липецкий государственный технический университет. 2022. С. 7-14.
20. Капский Д.В., Богданович С.В. Бионическое развитие транспортных систем городов // *Архитектура: Сборник научных трудов*. Минск: БНТУ, 2023. С. 28-34.

**Капский Денис Васильевич**

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

**Богданович Сергей Валерьевич**

Белорусский национальный технический университет  
Адрес: 220013, Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости, 65  
К.т.н., доцент, доцент кафедры «Транспортные системы и технологии»  
E-mail: bsw001@gmail.com

**Ляпин Сергей Александрович**

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

---

D.V. KAPSKI, S.V. BOGDANOVICH, S.A. LYAPIN

**CITY DESIGN AND «TRANSPORT» PROGRESS,  
DUE TO TECHNOLOGICAL SHIFT**

***Abstract.** Technological progress has always influenced the development of cities. Nowadays, unmanned vehicles are replacing traditional cars, which may lead to changes in the urban environment. Today, the key trends are: automation, sharing, electrification, connectivity and transport virtualization. Their convergence can lead to systemic changes. But it is too early to talk about a complete replacement of personal cars. Urban planning must be guided by sustainable development goals, ensuring accessible, safe and environmentally friendly transport for all. At the same time, the introduction of drones can lead to both positive and negative effects. The task of designers is to maximize the former and minimize the latter. This requires clear guidelines and a flexible approach that takes into account the systemic relationship between urban form and traffic flows.*

***Keywords:** driverless vehicles, urban planning, sustainable development, technology trends, future transport*

**BIBLIOGRAPHY**

1. Maeng D.M., Nedovi-Budi Z. Urban form and planning in the information age: Lessons from literature / Spatium. 2008. №17 (17-18). P. 1-12.
2. Kohlstedt Kurt. Ville Radieuse: Le Corbusier's Functionalist Plan for a Utopian «Radiant City» [Elektronnyy resurs]. URL: <https://99percentinvisible.org/article/ville-radieuse-le-corbusiers-functionalist-plan-utopian-radiant-city/>. Date of access: 06.11.2023.
3. Geddes N.B. Magic motorways [Electronic resource]. URL: <https://ia600704.us.archive.org/2/items/magicmotorways00geddrich/magicmotorways00geddrich.pdf>. 06.11.2023.
4. Magic Highway U.S.A. The Disneyland Show. United States [Elektronnyy resurs]: Walt Disney Films. URL: [https://www.youtube.com/watch?v=Iqq2bfDPRo8&ab\\_channel=JohnCorigliano](https://www.youtube.com/watch?v=Iqq2bfDPRo8&ab_channel=JohnCorigliano). Date of access: 06.11.2023.
5. Thompson Cadie: Disney predicted the future of transportation in 1958 and was eerily correct on a lot of things [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.businessinsider.com/walt-disneys-magic-highway-predictions-in-1958-2015-9>. Date of access: 06.11.2023.
6. Cannon R.H. Transportation, automation, and societal structure // Proceedings of the IEEE. Vol. 61. №5. 1973. R. 518-525.
7. Urry J. The 'System' of Automobility. [Elektronnyy resurs]. URL: [https://www.researchgate.net/publication/258192332\\_The\\_%27System%27\\_of\\_Automobi](https://www.researchgate.net/publication/258192332_The_%27System%27_of_Automobi). Date of access: 06.11.2023.
8. Maheshwari Tanvi. An urban design response to the technological shift in transportation [Elektronnyy resurs]. - URL: [https://www.researchcollection.ethz.ch/bitstream/handle/20.500.11850/448978/20201019\\_ThesisPacka](https://www.researchcollection.ethz.ch/bitstream/handle/20.500.11850/448978/20201019_ThesisPacka) Date of access: 06.11.2023.
9. Lu N., Cheng N., Zhang N., Shen X., Mark J.W. Connected Vehicles: Solutions and Challenges // IEEE Internet of Things Journal. 2014. №1. P. 289-299.

10. Javanshour F., Development and evaluation of simulation models for shared autonomous mobility on-demand systems. [Elektronnyy resurs]. 2019. URL: [https://researchbank.swinburne.edu.au/file/6bf1a980-8499-41ab-b027-f994aa372468/1/farid\\_javanshour\\_thesis.pdf](https://researchbank.swinburne.edu.au/file/6bf1a980-8499-41ab-b027-f994aa372468/1/farid_javanshour_thesis.pdf). Date of access: 06.11.2023.
11. BIG Unveils a Driverless World of the Future Complete With Solar-Powered Streets [Elektronnyy resurs]. URL: <https://inhabitat.com/big-unveils-a-driverless-world-of-the-future-complete-with-solar-powered-streets/big-driverless-world-3/>. Date of access: 06.11.2023.
12. Klaver F. The economic and social impacts of fully autonomous vehicles [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.compact.nl/pdf/C-2020-4-Klaver.pdf> /. Date of access: 06.11.2023.
13. McKinsey Center for Future Mobility. The future of mobility is at our doorstep. Compendium 2019/2020 [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Automotive%20and%20A>. Date of access: 06.11.2023
14. Electric vehicles. Technology brief [Elektronnyy resurs]. URL: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/IRENA\\_Electric\\_Vehicles\\_2017.pdf?rev=a5d68dbd343a43f289b667e97a9cd212](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/IRENA_Electric_Vehicles_2017.pdf?rev=a5d68dbd343a43f289b667e97a9cd212). Date of access: 06.11.2023.
15. Tolga Ercan, Nuri C. Onat, Nowreen Keya, Omer Tatari, Naveen Eluru, Murat Kucukvar, Autonomous electric vehicles can reduce carbon emissions and air pollution in cities, Transportation Research Part D [Elektronnyy resurs] // Transport and Environment. Vol. 112. 2022. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103472>.
16. Ji Eun Park, Wanhee Byun, Youngchan Kim, Hyeonjun Ahn, Doh Kyoum Shin. The Impact of Automated Vehicles on Traffic Flow and Road Capacity on Urban Road Networks [Elektronnyy resurs] // Journal of Advanced Transportation. Vol. 2021. Article ID 8404951. 10. R. 2021. URL: <https://doi.org/10.1155/2021/8404951>.
17. Qiong Lu, Tams Tettamanti, Dniel H?rcher & Istvn Varga. The impact of autonomous vehicles on urban traffic network capacity: an experimental analysis by microscopic traffic simulation // Transportation Letters. 2020. 12:8. 540-549. DOI: 10.1080/19427867.2019.1662561.
18. Osnovy avtomatizatsii intellektual`nykh transportnykh sistem: Uchebnik / D.V. Kapskiy, E.N. Kot, S.V. Bogdanovich [i dr.]. Vologda: OOO «Izdatel`stvo «Infra-Inzheneriya», 2022. 412 s.
19. Podklyuchennye avtomobili v intellektual`nykh transportnykh sistemakh umnykh gorodov / S.A. Lyapin, D.V. Kapskiy, Yu.N. Rizaeva, D.A. Kadasev // Infokommunikatsionnye i intellektual`nye tekhnologii na transporte: Sbornik statey MNPk. Lipetsk: Lipetskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet. 2022. S. 7-14.
20. Kapskiy D.V., Bogdanovich S.V. Bionicheskoe razvitie transportnykh sistem gorodov // Arkhitektura: Sbornik nauchnykh trudov. Minsk: BNTU, 2023. S. 28-34.

**Kapski Denis Vasilievich**

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

**Bogdanovich Sergei Valerievich**

Belarusian National Technical University  
Address: 220013, Belarus, Minsk, Nezavisimosti Ave., 65  
Candidate of technical sciences  
E-mail: bsw001@gmail.com

**Lyapin Sergey Alexandrovich**

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

Научная статья

УДК 656.073.51+004.94

doi:10.33979/2073-7432-2024-1-1(84)-131-139

Р.Г. КОРОЛЬ, С.Д. ПОДОЛИННАЯ

## ТЕРМИНАЛЬНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТРАНСГРАНИЧНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

***Аннотация.** В данной работе выполнен анализ текущей ситуации в сфере внешнеторговых перевозок России и Китая, выявлены факторы, оказывающие влияние на эффективность перевозок через железнодорожные пограничные переходы, описан алгоритм работы программы имитационного моделирования с визуальным представлением процессов терминально-логистического взаимодействия, произведено моделирование работы терминально-складских объектов ТЛЦ «Нижнеленинское» с учетом технологических и технических параметров при поступлении прогнозных объемов грузопотока.*

***Ключевые слова:** железнодорожный пограничный переход, имитационное моделирование, транспортно-логистический центр*

### **Введение**

Сложившаяся геополитическая обстановка отразилась на динамике и направленности экономического развития России в сторону развития сотрудничества со странами Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР) [1]. Сегодня особое внимание уделяется вопросам развития транспортно-логистической инфраструктуры Дальнего Востока, так как через дальневосточные регионы проходят международные транспортные коридоры, обеспечивающие через систему морских портов и пограничных пунктов пропуска внешнеторговые связи страны с Монголией, Китаем и Корейской Народно-Демократической Республикой [2].

Китайская Народная Республика (КНР) является ключевым внешнеторговым партнером Российской Федерации (РФ). Географическое расположение дальневосточных регионов и активное развитие экономических отношений с Китаем привело к развитию транспортных связей на региональном уровне [3]. Согласно оценкам Министерства по развитию Дальнего Востока и Арктики России объем товарооборота между российским Дальним Востоком и провинциями КНР по итогам 2022 года вырос на 47 % достигнув значений в 22 млрд. долларов, этот показатель планировалось достичь к 2024 году. За четыре месяца 2023 года товарооборот вырос на 41,3 % относительно аналогичного периода 2022 года, подобная динамика роста объемов внешней торговли требует инфраструктурного усиления существующей и строительство новой транспортно-логистической инфраструктуры.

Для освоения перспективных объемов грузопотока и дальнейшего развития внешней торговли Российской Федерации необходимо внедрение современных технологий и организация соответствующей инфраструктуры, позволяющей повысить эффективность организации международных перевозок путем ускорения технологических операций на трансграничных объектах, являющихся основными звеньями транспортных коридоров [4]. На территории Дальневосточного округа расположено семь функционирующих железнодорожных трансграничных переходов, один в направлении Монголии в Республике Бурятия «Наушки – Сухе-Батор», пять погранпереходов с Китаем: в Забайкальском крае «Забайкальск – Маньчжурия» и «Соловьёвск – Эрэнцав», в Еврейской автономной области «Нижнеленинское – Тунцзян», в Приморском крае «Махалино – Хуньчунь» и «Пограничный – Суйфеньхэ», а также один погранпереход с КНДР «Хасан – Туманган». Железнодорожные погранпереходы Забайкальск, Гродеково и Махалино являются наиболее развитыми по инфраструктуре и техническому оснащению, поэтому обеспечивают пропуск основных объемов экспортного грузопотока лесной продукции, угля, руды и т.д.

Дальневосточные железнодорожные пограничные переходы испытывают значительную загруженность имеющейся инфраструктуры, технологическое оборудование пограничных пунктов пропуска требует модернизации [5]. Для обеспечения растущих потребностей государства в повышении устойчивости транспортно-логистических цепочек и наращивании объемов экспортно-импортных грузопотоков необходимо создание и оснащение современным оборудованием пограничных пунктов пропуска, отвечающих требованиям оперативной и высокотехнологичной обработки транспорта и грузов, а также проведения таможенных операций. Цель данной работы заключается в анализе текущей ситуации в области международных перевозок на направлении «Россия – Китай» для моделирования процессов терминально-логистического взаимодействия на пограничных пунктах пропуска с учетом прогнозного сценария развития инфраструктуры и увеличения объемов грузопотока.

**Материал и методы**

Большинство научных работ в области моделирования наземных трансграничных грузовых перевозок выполнено на примере автомобильных пограничных пунктов пропуска [6-8], вопросы транспортировки грузов через железнодорожные пограничные переходы рассматривались в работах [9-11] и были направлены на развитие транспортной инфраструктуры с учетом организации движения поездов в межгосударственном сообщении. В данной статье рассматривается динамическое имитационное моделирование терминально-логистического взаимодействия при обработке внешнеторгового грузопотока и транспортных средств. При проведении научно-исследовательской работы использованы теоретические и математические методы исследований, включая моделирование, анализ и визуализацию.

**Теория**

На эффективность железнодорожных перевозок в международном сообщении влияют инфраструктурные параметры и технологические процессы пропуска подвижного состава через пограничные переходы [12], а также переработка грузов на приграничных терминально-логистических объектах [13]. Задержки транспортных средств и грузов зависят от различных факторов, связанных с недостаточным уровнем инфраструктурного развития пограничных пунктов пропуска и организацией проведения контрольных процедур, что увеличивает продолжительность транспортного процесса и отрицательно влияет на конкурентоспособность и уровень спроса на услуги железнодорожного транспорта. Сверхнормативный простой груженого подвижного состава на пограничных станциях увеличивает финансовые расходы, снижает способность прогнозировать сроки доставки грузов, негативно отражается на станционных процессах, что влияет на качество транспортного обслуживания и инвестиционную привлекательность развития инфраструктурных объектов в пунктах пересечения государственных границ (рис. 1).



**Рисунок 1 - Взаимосвязь факторов, оказывающих влияние на эффективность перевозок через железнодорожные пограничные переходы**

Минимизировать влияние негативных факторов на качественные и количественные показатели пропуска транспорта и обработки грузов на железнодорожных пограничных перехо-

дах позволяет реализация проектов по модернизации и строительству инфраструктуры пунктов пропуска Дальневосточного региона [14]. В Национальной программе социально-экономического развития Дальнего Востока на период до 2024 года и на перспективу до 2035 года [15] прописано, что до 2024 года будет завершено обустройство железнодорожных пунктов пропуска Нижнеленинское, Пограничный, Наушки и Забайкальск, дополнительно планируется рассмотреть вопрос о реконструкции железнодорожного пункта пропуска Махалино.

15 ноября 2022 года состоялось открытие грузового движения через речную российско-китайскую государственную границу по мостовому железнодорожному переходу Нижнеленинское – Тунцзян [16]. В рамках реализации проекта «Один пояс – Один путь», направленного на организацию трансконтинентального транспортного коридора, соединяющего Китай и западные страны, грузовые перевозки через трансграничный мост могут быть одним из направлений Нового Шёлкового пути [17]. Трансграничный мостовой переход имеет совмещенную железнодорожную колею (1520 мм и 1435 мм), что позволяет пропускать российские и китайские поезда [18].

Определяющим фактором строительства трансграничного мостового перехода Нижнеленинское – Тунцзян являлась организация вывоза для переработки на предприятиях Китая железной руды с Кимкано-Сутарского ГОКа и Олекминском ГОКа. Железнодорожный маршрут через мостовой переход сокращает транспортное плечо на 1700 километров и соответственно себестоимость доставки руды.

Пропускная способность железнодорожного перехода Нижнеленинское – Тунцзян на первом этапе эксплуатации позволит обеспечить перевозку экспортных грузов в объеме 5,7 млн. тонн в год. В настоящее время через мост ежедневно проходят четыре поезда. 28 июля 2023 года через пограничный пункт пропуска станции Михайло-Семеновская (Ленинск-II) проследовал первый российский контейнерный поезд из Китая, сформированный на терминале станции Тунцзян (КНР). Импортный контейнеропоток составил 55 контейнеров, назначением на станцию Электроугли (Московская ж.д.). При этом на российской стороне трансграничного перехода отсутствует таможенно-логистическая инфраструктура для обработки контейнеров. Второй этап эксплуатации мостового перехода включает реконструкцию станции Ленинск-II и строительство Нижнеленинского транспортно-логистического центра (ТЛЦ) для организации и осуществления перевозок грузов между двумя странами [19]. Реализация инфраструктурных мероприятий позволит обеспечить пропуск 10,8 млн. тонн груза в год.

Согласно проектной документации строительства транспортно-логистического центра «Нижнеленинское» на территории планируется размещение [20]:

- контейнерная площадка для хранения грузов в контейнерах;
- зона складской переработки для переработки тарно-штучных грузов;
- открытые площадки для хранения навалочных грузов.

При проектировании масштабных инфраструктурных объектов помимо математических расчетов необходимо производить имитационное моделирование технологических процессов рассматриваемых объектов в условиях поэтапного строительства с учетом прогнозных значений поступающего грузопотока [21, 22]. Для графического отображения загруженности технических средств, использования ёмкости складских площадей, определения резервов производственной мощности для переработки прогнозируемых объемов грузопотока была разработана программа имитационного моделирования работы приграничного терминально-складского комплекса с примыканием железнодорожной инфраструктуры разной ширины колеи [23]. Укрупненный алгоритм работы программы имитационного моделирования представлен на рисунке 2.

Пользовательский интерфейс программы включает три подсистемы (рис. 3): транспортная инфраструктура, терминально-логистические объекты и временные параметры. Подсистема «транспортная инфраструктура» позволяет задавать для грузовых фронтов следующие параметры: вместимость железнодорожного фронта широкой колеи  $III^I_{вмест.}$  и узкой колеи  $V^I_{вмест.}$ , вместимость автомобильного фронта  $A^I_{вмест.}$ , количество поступающего подвижного состава для фронтов различной ширины колеи  $B^I_{фронт}$ , количество прибывающего

автотранспорта  $V^{I_{авт}}$ , грузоподъемность вагонов  $\Gamma^{I_{ваг}}$  и автомобилей  $\Gamma^{I_{авт}}$ . Подсистема «терминально-логистические объекты» формируется в зависимости от рода перерабатываемых грузопотоков и требуемого количества складских объектов  $K^{n_{объект}}$ , учитывая технико-эксплуатационные характеристики моделируемых объектов – количество подъемно-транспортного оборудования  $M^{I_{объект}}$ , производительность оборудования  $\Pi^{I_{мех}}$ , емкость складских объектов  $C^{I_{емкость}}$  и количество груза на начало суток  $T^{I_{сут}}$ . Моделирование осуществляется путем перемещения транзакта (тонна груза  $T^{I_{эксп}}$  и  $T^{I_{имп}}$ ) в единицу времени (минута) между этапами обработки груза, с помощью подсистемы «временные параметры» вводим временные значения: дата и время прибытия транспорта, продолжительность таможенных операций с грузом  $O^{I_{там}}$ . При этом программа позволяет в реальном режиме времени вносить изменения в работу подъемно-транспортного оборудования, направляя механизмы на требуемый участок работ.

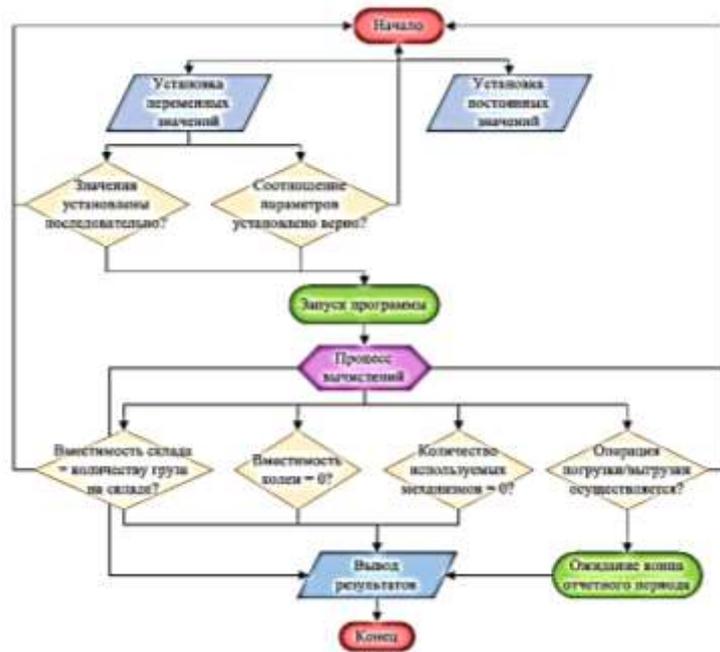


Рисунок 2 - Укрупненный алгоритм работы программы имитационного моделирования

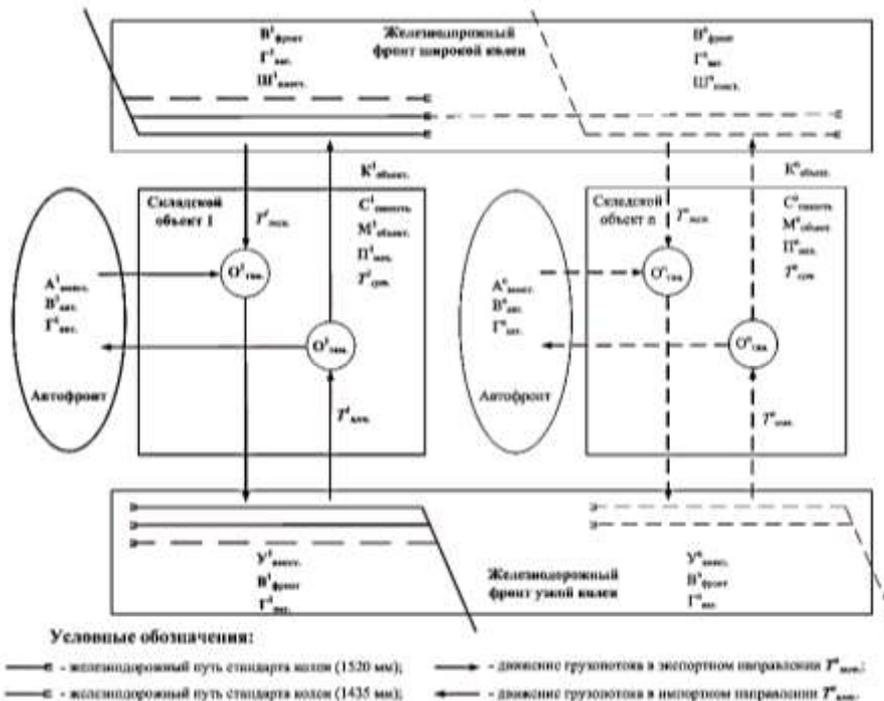


Рисунок 3 - Визуальная схема терминально-логистического взаимодействия при моделировании процессов внешнеторговых перевозок грузов

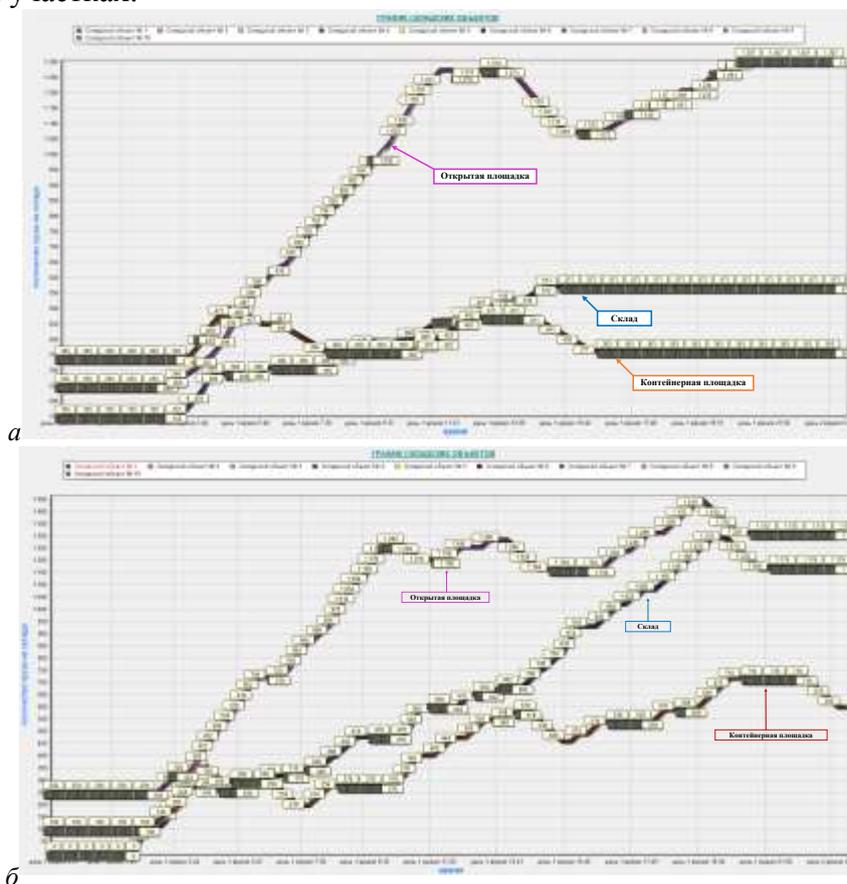
**Результаты и обсуждения**

Согласно исходным данным, представленным в таблице 1, произведено моделирование процессов обработки транспорта и внешнеторгового грузопотока на складских объектах ТЛЦ «Нижнеленинское» на первом этапе функционирования ТЛЦ и в условиях увеличения грузопотока при техническом и инфраструктурном усилении объектов.

Таблица 1 - Исходные данные для моделирования

Показатель	Склад		Контейнерная площадка		Открытая площадка	
	1 этап	2 этап	1 этап	2 этап	1 этап	2 этап
Вместимость	5868 п-м.	5868 п-м.	480 конт.	760 конт.	5316 т.	5316 т.
Количество груза на начало суток	150 т.	-	340 конт.	100 конт.	250 т.	250 т.
Количество ПРМ, ед.	6	16	1	3	2	3
Грузо- и контейнеропоток	420,48 т/сут.	1270,13 т/сут.	262 конт./сут.	800 конт./сут.	1178 т/сут.	1450 т/сут.

На рисунке 4 графике представлено выполнение грузовых операций с внешнеторговым грузопотоком на крытом складе, открытой и контейнерной площадках, в том числе с одновременным осуществлением погрузочно-выгрузочных операций на железнодорожном и автомобильном участках.



**Рисунок 4 - Графическое представление суточной загрузенности терминально-складских объектов ТЛЦ «Нижнеленинское»: а - на первом этапе функционирования; б - на втором этапе функционирования с учетом инфраструктурного усиления объектов ТЛЦ**

На первом этапе функционирования ТЛЦ «Нижнеленинское» наибольший суточный грузопоток планируется перегружать через открытую навалочную площадку (уголь, руда, лес), согласно графику (рис. 4а) «пиковое» значение заповняемости открытой площадки составило 1307 тонн при перерабатывающей способности 3259 тонн в сутки, резерв производственной мощности 75 %. На контейнерной площадке к концу суток находилось 363 контейнера с различным грузом (сельскохозяйственная техника, продукты питания и прочее), пло-

щадка заполнялась в течение суток до 471 контейнера, что составляло 98 % емкости площадки. Максимальное значение заполняемости зоны хранения складского терминала составило 571 тонна тарно-штучных грузов, что соответствует расчетной перерабатывающей способности рабочих зон склада. Ограниченное количество подъемно-транспортного оборудования и недостаточная вместимость зон хранения не позволяют ускорить грузовые операции и обрабатывать большее количество транспорта, поэтому второй этап моделирования направлен на увеличение объемов переработки грузов и контейнеров на объектах ТЛЦ «Нижнеленинское» при поступлении дополнительного подвижного состава, увеличении количества погрузочно-выгрузочных путей и соответствующих механизмов. Из графика на рис. 4б видно, что заполняемость складских объектов и объем работы значительно увеличились, открытая площадка переработала дополнительно 200 тонн груза, крытый склад принял 1270 паллет с грузом, контейнерная площадка обработала 800 контейнеров, имеются резервы перерабатывающей способности на последующие сутки. При разработке сценария моделирования в исходных данных указывается множество параметров, включая время таможенных и технологических операций, интенсивность поступления подвижного состава двух стандартов колеи и автотранспорта, объемы грузооборота и т.д. Для повышения качества эксперимента и максимального приближения к реальным условиям функционирования складских объектов требуется сбор и анализ статистической информации, выявление закономерностей, наблюдение за технологическими процессами рассматриваемых объектов моделирования.

### **Выводы**

Формирование нового международного транспортного коридора между Россией и Китаем через трансграничный переход Нижнеленинское – Тунцзян позволит обеспечить отправку сырьевых ресурсов по Транссибирской железнодорожной магистрали с перенаправлением на участок Биробиджан I – Михайло-Семёновская (Ленинск II), что позволит разгрузить железнодорожный участок от Хабаровска до Владивостока и переориентировать часть грузопотока с пунктов пропуска и морских портов на новый погранпереход, что будет способствовать их специализации на определенных номенклатурах грузов.

При проектировании и дальнейшей эксплуатации приграничных транспортно-логистических центров необходимо производить оценку эффективности принятых инфраструктурных и технологических решений, рассматривая различные варианты функционирования пограничных пунктов пропуска и сопутствующей терминально-складской инфраструктуры [24]. В условиях неравномерного поступления транспорта и увеличивающихся объемов груза, возникновения логистических рисков и ограниченности инфраструктурного развития пограничных переходов, в качестве инструмента для анализа загруженности объектов может использоваться имитационное моделирование, позволяющее визуально отобразить взаимное влияние технических и технологических параметров для обеспечения перемещения прогнозируемых объемов грузопотока в международном сообщении [25]. Наиболее сложный процесс передачи грузопотока на железнодорожных пунктах пропуска, имеющих разную ширину колеи и высокую интенсивность передачи грузопотоков. Прогнозирование транспортно-логистических процессов при трансграничных перевозках грузов с помощью моделирования является актуальным направлением дальнейших научных и прикладных исследований коллектива Дальневосточного государственного университета путей сообщения (ДВГУПС). Научные результаты данного исследования заключаются в формировании моделей имитационного моделирования транспортно-логистических систем и углубленное изучение процессов трансграничного взаимодействия при организации международных перевозок грузов.

В настоящее время на базе ДВГУПС совместно с Морским государственным университетом им. адм. Г.И. Невельского и ФАНУ «Восточный центр государственного планирования» реализуется проект по организации Консалтингового центра мультимодальных перевозок Дальнего Востока и Арктики (КЦМП), первым этапом работы которого является разработка динамической модели транспортно-логистической экосистемы Дальневосточного округа. Разработанная программа имитационного моделирования работы приграничного терминально-складского комплекса с примыканием железнодорожной инфраструктуры раз-

ной ширины колеи является одним из первых результатов функционирования КЦМП.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Покровская О.Д., Мороз Ю.А., Касьянов И.В. Влияние санкций на развитие транспортной и складской логистики в России // Вестник транспорта. 2023. №3. С. 10-12.
2. Пугачев И.Н., Король Р.Г., Нестерова Н.С. Развитие транспортно-логистического комплекса Дальневосточного региона России // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. 2022. №4(33). С. 25-34.
3. Дамбаева Н.П. Развитие экономического потенциала приграничного региона: автореф. на соиск. ученой степ. канд. экон. наук: 08.00.05 Москва, 2021. 24 с.
4. Попадюк А.Ю., Коровяковский Е.К. Об организации международных цепей доставки грузов // Бюллетень результатов научных исследований. 2020. №2. С. 100-110. DOI: 10.20295/2223-9987-2020-2-100-110.
5. Король Р.Г., Подолинная С.Д. Моделирование перерабатывающей способности терминально-логистических объектов железнодорожного пограничного перехода Нижнеленинское (РФ) - Тунцзян (КНР) // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2023. №1(57). С. 52-63. DOI: 10.20291/2079-0392-2023-1-52-63.
6. Афонин П.Н., Топкова И.А. Особенности имитационного моделирования пропускной способности автомобильного пункта пропуска // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2012. №12(48). С. 55.
7. Березкина Н.Н. Моделирование таможенно-логистических операций в международных автомобильных пунктах пропуска: автореф. на соиск. ученой степ. канд. экон. наук: 08.00.05 Санкт-Петербург, 2014. 18 с.
8. Полянская С.В., Ульзетуева Д.Д. Совершенствование работы автомобильных пунктов пропуска с помощью использования имитационного моделирования // Научные труды Северо-Западного института управления РАНХИГС. 2022. Т. 13. №1(53). С. 145-151.
9. Бекжанова С.Е., Исина Б.М., Муратбекова Г.В. Моделирование перевозок с помощью линейного программирования // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. 2020. №4(115). С. 109-117. DOI: 10.52167/1609-1817-2020-115-4-109-117.
10. Паршина Р.Н. Математическая модель обработки составов с контейнерами на пограничном терминале // Вестник университета. 2012. №10. С. 156-165.
11. Базилевский М.П. Программный комплекс построения линейно-мультипликативных регрессий // Прикладная информатика. 2018. Т. 13. №3(75). С. 110-123.
12. Вакуленко С.П., Куренков П.В., Лёвин С.Б., Астафьев А.В., Садчикова В.А. Методика определения пропускной и перерабатывающей способности железнодорожных пограничных пунктов // Транспорт: наука, техника, управление. 2022. №3. С. 8-13. DOI: 10.36535/0236-1914-2022-03-2.
13. Казаков А.Л., Маслов А.М. Имитационное моделирование при проектировании грузовых терминалов железнодорожного транспорта // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2010. №1(5). С. 33-39.
14. Хрущев И.Э. Мероприятия по строительству и модернизации пунктов пропуска на Дальнем Востоке // Таможенная политика России на Дальнем Востоке. 2020. №4(93). С. 43-46.
15. Об утверждении Национальной программы социально-экономического развития Дальнего Востока на период до 2024 года и на перспективу до 2035 года: Распоряжение Правительства Российской Федерации №2464-р от 24 сентября 2020 г. [Электронный ресурс] / URL: <http://static.government.ru/media/files/NAISPJ8QMRZUPd9LIMWJoeVhn1l6eGqD.pdf>.
16. Король Р.Г., Числов О.Н. Транспортно-логистическая архитектура мультимодальных перевозок Амурского бассейна // Известия Транссиба. 2022. №3(51). С.145-155.
17. Мустафин Д.Р., Рахмангулов А.Н. Развитие международных транспортных коридоров на направлении «Китай - западная Европа» // Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте. – Липецк: Липецкий государственный технический университет. 2022. С. 405-411.
18. Космин В.В., Космин А.В. Трансграничный мост через Амур // Путь и путевое хозяйство. 2022. №10. С. 2.
19. Подолинная С.Д., Червотенко Е.Э. Анализ методологического исследования по рациональному размещению ТЛЦ в приграничных районах // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. Хабаровск: ДВГУПС. 2022. Т. 1. С. 144-148.
20. Глушак А.С., Король Р.Г. Организация приграничных терминально-логистических центров на Дальневосточной железной дороге // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. Иркутск: ИРГУПС. 2018. Т. 1. С. 82-87.
21. Козлов П.А., Колокольников В.С., Копылова Е.В. Об имитационном моделировании и имитационных системах // Транспорт Урала. 2019. №1(60). С. 3-6.
22. Кузнецов А.Л., Галин А.В., Попов Г.Б. Дискретно-событийное моделирование грузовых фронтов контейнерного терминала // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2023. Т. 15. №4. С. 589-602. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-4-589-602.
23. Программа имитационного моделирования работы приграничного терминально-складского ком-

плекса с примыканием железнодорожной инфраструктуры разной ширины колеи: Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2022681475 Российская Федерация. № 2022681475 / Король Р.Г.; заявл. 08.08.22; опубл. 14.11.22.

24. Хашев А.И., Мамаев Э.А., Гуда А.Н. Комбинированное имитационно-аналитическое моделирование в транспортно-логистических системах // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2022. №1(85). С. 117-125. DOI: 10.46973/0201-727X\_2022\_1\_117.

25. Числов О.Н., Луганченко Н.М. Развитие принципов моделирования технологии транспортных процессов грузовых комплексов и терминалов // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов. 2022. №1(4). С. 205-213.

**Король Роман Григорьевич**

Дальневосточный государственный университет путей сообщения

Адрес: 680021, Россия, г. Хабаровск, ул. Серышева, 47

К.т.н., доцент, зав. кафедрой «Технология транспортных процессов и логистика»

E-mail: kingkhv27@mail.ru

**Подолинная София Дмитриевна**

Дальневосточный государственный университет путей сообщения

Адрес: 680021, Россия, г. Хабаровск, ул. Серышева, 47

Аспирант, преподаватель кафедры «Технология транспортных процессов и логистика»

E-mail: Sofiyka\_44@mail.ru

---

R.G. KOROL, S.D. PODOLINNAYA

## TERMINAL AND LOGISTICS INTERACTION IN THE DESIGN OF CROSS-BORDER INFRASTRUCTURE

***Abstract.** In this article, the analysis of the current situation in the sphere of foreign trade transportation of Russia and China is carried out, the factors influencing the efficiency of transportation through railway border crossings are identified, the algorithm of the simulation program with a visual representation of the processes of terminal and logistics interaction is described, the operation of terminal and warehouse facilities of the Nizhneleninskoye shopping mall is simulated, taking into account technological and technical parameters upon receipt of the forecasted volumes of cargo traffic.*

***Keywords:** railway border crossing, simulation modeling, transport and logistics center*

### BIBLIOGRAPHY

1. Pokrovskaya O.D., Moroz Yu.A., Kas`yanov I.V. Vliyaniye sanktsiy na razvitiye transportnoy i skladskey logistiki v Rossii // Vestnik transporta. 2023. №3. S. 10-12.
2. Pugachev I.N., Korol` R.G., Nesterova N.S. Razvitiye transportno-logisticheskogo kompleksa Dal`nevostochnogo regiona Rossii // Transport Aziatsko-Tikhookeanskogo regiona. 2022. №4(33). S. 25-34.
3. Dambaeva N.P. Razvitiye ekonomicheskogo potentsiala prigranichnogo regiona: avtoref. na soisk. uchenoy step. kand. ekon. nauk: 08.00.05 Moskva, 2021. 24 s.
4. Popadyuk A.Yu., Korovyakovskiy E.K. Ob organizatsii mezhdunarodnykh tsepey dostavki gruzov // Byulleten` rezul'tatov nauchnykh issledovaniy. 2020. №2. S. 100-110. DOI: 10.20295/2223-9987-2020-2-100-110.
5. Korol` R.G., Podolinnaya S.D. Modelirovaniye pererabatyvayushchey sposobnosti terminal'no-logisticheskikh ob"ektov zheleznodorozhnogo pogranichnogo perekhoda Nizhneleninskoye (RF) - Tuntszyan (KNR) // Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya. 2023. №1(57). S. 52-63. DOI: 10.20291/2079-0392-2023-1-52-63.
6. Afonin P.N., Topkova I.A. Osobennosti imitatsionnogo modelirovaniya propusknoy sposobnosti avtomobil'nogo punkta propuska // Upravleniye ekonomicheskimi sistemami: elektronnyy nauchnyy zhurnal. 2012. №12(48). S. 55.
7. Berezkina N.N. Modelirovaniye tamozhenno-logisticheskikh operatsiy v mezhdunarodnykh avtomobil'nykh punktakh propuska: avtoref. na soisk. uchenoy step. kand. ekon. nauk: 08.00.05 Sankt-Peterburg, 2014. 18 s.
8. Polyanskaya S.V., Ul'zetueva D.D. Sovershenstvovaniye raboty avtomobil'nykh punktov propuska s pomoshch`yu ispol'zovaniya imitatsionnogo modelirovaniya // Nauchnye trudy Severo-Zapadnogo instituta upravleniya RANHIGS. 2022. T. 13. №1(53). S. 145-151.
9. Bekzhanova S.E., Isina B.M., Muratbekova G.V. Modelirovaniye perevozok s pomoshch`yu lineynogo programmirovaniya // Vestnik Kazakhskoy akademii transporta i kommunikatsiy im. M. Tynyshpaeva. 2020. №4(115). S.

109-117. DOI: 10.52167/1609-1817-2020-115-4-109-117.

10. Parshina R.N. Matematicheskaya model obrabotki sostavov s konteynerami na pogranichnom terminale // Vestnik universiteta. 2012. №10. S. 156-165.

11. Bazilevskiy M.P. Programmnyy kompleks postroeniya lineyno-mul'tiplikativnykh regressiy // Prikladnaya informatika. 2018. T. 13. №3(75). S. 110-123.

12. Vakulenko S.P., Kurenkov P.V., Liovin S.B., Astaf'ev A.V., Sadchikova V.A. Metodika opredeleniya propusknoy i pererabatyvayushchey sposobnosti zheleznodorozhnykh pogranichnykh punktov // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. 2022. №3. S. 8-13. DOI: 10.36535/0236-1914-2022-03-2.

13. Kazakov A.L., Maslov A.M. Imitatsionnoe modelirovanie pri proektirovanii gruzovykh terminalov zheleznodorozhnogo transporta // Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya. 2010. №1(5). S. 33-39.

14. Hrushchev I.E. Meropriyatiya po stroitel'stvu i modernizatsii punktov propuska na Dal'nem Vostoke // Tamozhennaya politika Rossii na Dal'nem Vostoke. 2020. №4(93). S. 43-46.

15. Ob utverzhenii Natsional'noy programmy sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Dal'nego Vostoka na period do 2024 goda i na perspektivu do 2035 goda: Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii №2464-r ot 24 sentyabrya 2020 g. [Elektronnyy resurs] / URL:

<http://static.government.ru/media/files/NAISPJ8QMRZUPd9LIMWJoeVhn1l6eGqD.pdf>.

16. Korol' R.G., Chislov O.N. Transportno-logisticheskaya arkhitektura mul'timodal'nykh perevozok Amurskogo basseyna // Izvestiya Transsiba. 2022. №3(51). S.145-155.

17. Mustafin D.R., Rakhmangulov A.N. Razvitie mezhdunarodnykh transportnykh koridorov na napravlenii «Kitay - zapadnaya Evropa» // Infokommunikatsionnye i intellektual'nye tekhnologii na transporte. - Lipetsk: Lipetskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiiy universitet. 2022. S. 405-411.

18. Kosmin V.V., Kosmin A.V. Transgranichnyy most cherez Amur // Put' i putevoe khozyaystvo. 2022. №10. S. 2.

19. Podolinnaya S.D., Chervotenko E.E. Analiz metodologicheskogo issledovaniya po ratsional'nomu razmeshcheniyu TLTS v prigranichnykh rayonakh // Nauchno-tekhnicheskoe i ekonomicheskoe sotrudnichestvo stran ATR v XXI veke. Habarovsk: DVGUPS. 2022. T. 1. S. 144-148.

20. Glushak A.S., Korol' R.G. Organizatsiya prigranichnykh terminal'no-logisticheskikh tsentrov na Dal'nevostochnoy zheleznoy doroge // Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona. Irkutsk: IRGUPS. 2018. T. 1. S. 82-87.

21. Kozlov P.A., Kolokol'nikov V.S., Kopylova E.V. Ob imitatsionnom modelirovanii i imitatsionnykh sistemakh // Transport Urala. 2019. №1(60). S. 3-6.

22. Kuznetsov A.L., Galin A.V., Popov G.B. Diskretno-sobytiynoe modelirovanie gruzovykh frontov konteynernogo terminala // Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova. 2023. T. 15. №4. S. 589-602. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-4-589-602.

23. Programma imitatsionnogo modelirovaniya raboty prigranichnogo terminal'no-skladskogo kompleksa s primykaniem zheleznodorozhnoy infrastruktury raznoy shiriny kolei: Svidetel'stvo o registratsii programmy dlya EVM 2022681475 Rossiyskaya Federatsiya. № 2022681475 / Korol' R.G.; zayavl. 08.08.22; opubl. 14.11.22.

24. Hashev A.I., Mamaev E.A., Guda A.N. Kombinirovannoe imitatsionno-analiticheskoe modelirovanie v transportno-logisticheskikh sistemakh // Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya. 2022. №1(85). S. 117-125. DOI: 10.46973/0201-727X\_2022\_1\_117.

25. Chislov O.N., Luganchenko N.M. Razvitie printsipov modelirovaniya tekhnologii transportnykh protsessov gruzovykh kompleksov i terminalov // Problemy perspektivnogo razvitiya zheleznodorozhnykh stantsiy i uzlov. 2022. №1(4). S. 205-213.

**Korol Roman Grigorievich**

Far Eastern State Transport University

Address: 680021, Russia, Khabarovsk, Serysheva st., 47

Candidate of technical sciences

E-mail: kingkhv27@mail.ru

**Podolinnaya Sophia Dmitrievna**

Far Eastern State Transport University

Address: 680021, Russia, Khabarovsk, Serysheva st., 47

Postgraduate student

E-mail: Sofiyka\_44@mail.ru

**Уважаемые авторы!**  
**Просим Вас ознакомиться с требованиями**  
**к оформлению научных статей.**

**ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ**

- Представляемый материал должен быть оригинальным (оригинальность не менее 70%), не опубликованным ранее в других печатных изданиях.
- объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах формата А4 и содержит от 4 до 9 страниц; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию;
- статья предоставляется в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе);
- в одном номере может быть опубликована только одна статья одного автора, включая соавторство;
- если статья возвращается автору на доработку, исправленный вариант следует прислать в редакцию повторно, приложив письмо с ответами на замечания. Доработанный вариант статьи рецензируется и рассматривается редакционной коллегией вновь. Датой представления материала считается дата поступления в редакцию окончательного варианта исправленной статьи;
- аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах, списки литературы будут находиться в свободном доступе на сайте соответствующего журнала и на сайте Российской научной электронной библиотеки - РУНЭБ (Российский индекс научного цитирования).

**ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ**

Научная статья, предоставляемая в журнал, должна иметь следующие **обязательные элементы**:

**Введение**

Укажите цели работы и предоставьте достаточный накопленный опыт, избегая подробного обзора литературы или обобщенных результатов.

**Материал и методы**

Предоставьте достаточно подробных сведений, чтобы можно было воспроизвести работу независимым исследователем. Методы, которые уже опубликованы, должны быть обобщены и указаны ссылкой. Если вы цитируете непосредственно из ранее опубликованного метода, используйте кавычки и также ссылаетесь на источник. Любые изменения существующих методов также должны быть описаны.

**Теория / расчет**

Раздел «Теория» должен продлить, а не повторять предысторию статьи, уже рассмотренную во введении, и заложить основу для дальнейшей работы. Напротив, раздел «Расчет» представляет собой практическое развитие с теоретической основы.

**Результаты**

Результаты должны быть четкими и краткими.

**Обсуждение**

Здесь необходимо рассмотреть значимость результатов работы, а не повторять их. Часто целесообразен комбинированный раздел «Результаты и обсуждение». Избегайте подробных цитат и обсуждений опубликованной литературы.

**Выводы**

Основные выводы исследования могут быть представлены в кратком разделе «Выводы», который может стоять отдельно или составлять подраздел раздела «Обсуждение» или «Результаты и обсуждение».

В тексте статьи **не рекомендуется**:

- применять обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
  - применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
  - применять произвольные словообразования;
  - применять сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими стандартами;
- Сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.

**ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ**

Статья должна быть набрана шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ - 1,25 см, правое поле - 2 см, левое поле - 2 см, поля внизу и сверху - 2 см.

**Обязательные элементы:**

- **заглавие** (на русском и английском языке) публикуемого материала - должно быть точным и ёмким; слова, входящие в заглавие, должны быть ясными сами по себе, а не только в контексте; следует избегать сложных синтаксических конструкций, новых словообразований и терминов, а также слов узкопрофессионального и местного значения;

- **аннотация** (на русском и английском языке) - описывает цели и задачи проведенного исследования, а также возможности его практического применения, указывает, что нового несет в себе материал; рекомендуемый средний объем - 500 печатных знаков;

- **ключевые слова** (на русском и английском языке) - это текстовые метки, по которым можно найти статью при поиске и определить предметную область текста; обычно их выбирают из текста публикуемого материала, достаточно 5-10 ключевых слов;

- **список литературы** должен содержать не менее 20-ти источников. В списке литературы количество источников, принадлежащих любому автору не должно превышать 30% от общего количества.

**ПОСТРОЕНИЕ СТАТЬИ**

- Индекс универсальной десятичной классификации (УДК) - сверху слева с абзацным отступом.
- С пропуском одной строки - выровненные по центру страницы, без абзацного отступа и набранные прописными буквами светлым шрифтом 12 pt инициалы и фамилии авторов (И.И. ИВАНОВ).

- С пропуском одной строки - название статьи, набранное без абзацного отступа прописными буквами полужирным шрифтом 14 pt и расположенное по центру страницы.
- С пропуском одной строки - краткая (не более 10 строк) аннотация, набранная с абзацного отступа курсивным шрифтом 10 pt на русском языке. С абзацного отступа - ключевые слова на русском языке.
- Текст статьи, набранный обычным шрифтом прямого начертания 12 pt, с абзацной строки, расположенный по ширине страницы.
- Список литературы, набранный обычным шрифтом прямого начертания 10 pt, помещается в конце статьи. Заголовок «СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ» набирается полужирным шрифтом 12 pt прописными буквами с выравниванием по центру.
- После списка литературы, с абзацного отступа, приводятся набранные обычным шрифтом 10 pt сведения об авторах (на русском языке) в такой последовательности:  
Фамилия, имя, отчество (полужирный шрифт)  
Учреждение или организация  
Адрес  
Ученая степень, ученое звание, должность  
Электронная почта (обычный шрифт), не может повторяться у двух и более авторов
- С пропуском одной строки - выровненные по центру страницы, без абзацного отступа и набранные прописными буквами светлым шрифтом 12 pt инициалы и фамилии авторов (на английском языке).
- С пропуском одной строки - название статьи, набранное без абзацного отступа прописными буквами полужирным шрифтом 14 pt и расположенное по центру страницы (на английском языке).
- Краткая (не более 10 строк) аннотация, набранная с абзацного отступа курсивным шрифтом 10 pt, с абзацного отступа - ключевые слова (на английском языке).
- С абзацного отступа, приводятся набранные обычным шрифтом 10 pt сведения об авторах (на английском языке).

### **ТАБЛИЦЫ, РИСУНКИ, ФОРМУЛЫ**

Все таблицы, рисунки и основные формулы, приведенные в тексте статьи, должны быть пронумерованы.

**Формулы** следует набирать в редакторе формул Microsoft Equation 3.0 с размерами: обычный шрифт - 12 pt, крупный индекс - 10 pt, мелкий индекс - 8 pt.

Формулы, внедренные как изображение, не допускаются!

Русские и греческие буквы, а также обозначения тригонометрических функций, набираются прямым шрифтом, латинские буквы - курсивом.

Формулы располагают по центру страницы и нумеруют (только те, на которые приводят ссылки); порядковый номер формулы обозначается арабскими цифрами в круглых скобках около правого поля страницы.

В формулах в качестве символов следует применять обозначения, установленные соответствующими стандартами. Описание начинается со слова «где» без двоеточия, без абзацного отступа; пояснение каждого символа дается с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формуле. Единицы измерения даются в соответствии с Международной системой единиц СИ.

Переносить формулы на следующую строку допускается только на знаках выполняемых операций, причем знак в начале следующей строки повторяют.

#### **Пример оформления формулы в тексте**

$$q_1 = (\alpha - 1)^2 \left(1 + \frac{1}{2\alpha}\right) / d, \quad (1)$$

где  $\alpha = 1 + 2a/b$  - коэффициент концентрации напряжений;

$d = 2a$  - размер эллиптического отверстия вдоль опасного сечения.

**Рисунки** и другие иллюстрации (чертежи, графики, схемы, диаграммы, фотоснимки) следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые. Рисунки, число которых должно быть логически оправданным, представляются в виде отдельных файлов в формате \*.eps (Encapsulated PostScript) или TIF размером не менее 300 dpi.

Если рисунок небольшого размера, желательно его обтекание текстом.

Подписи к рисункам (полужирный шрифт курсивного начертания 10 pt) выравнивают по центру страницы, в конце подписи точка не ставится, например:

#### ***Рисунок 1 - Текст подписи***

Пояснительные данные набираются светлым шрифтом курсивного начертания 10 pt и ставят после наименования рисунка.

**Таблицы** должны сопровождаться ссылками в тексте.

Заголовки граф и строк таблицы пишутся с прописной буквы, а подзаголовки - со строчной, если они составляют одно предложение с заголовком, или с прописной буквы, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставятся. Текст внутри таблицы в зависимости от объема размещаемого материала может быть набран шрифтом меньшего кегля, но не менее 10 pt. Текст в столбцах располагают от левого края либо центрируют.

Слово «Таблица» размещается по левому краю, после него через тире располагается название таблицы, например: Таблица 1 - Текст названия

Если в конце страницы таблица прерывается и ее продолжение будет на следующей странице, нижнюю горизонтальную линию в первой части таблицы не проводят. При переносе части таблицы на другую страницу над ней пишут слово «Продолжение» и указывают номер таблицы. Пример: Продолжение таблицы 1

Нумерация граф таблицы арабскими цифрами необходима только в тех случаях, когда в тексте имеются ссылки на них, при делении таблицы на части, а также при переносе части таблицы на следующую страницу.

*Адрес издателя:*

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»  
302026, Орловская обл., г. Орёл, ул. Комсомольская, 95  
Тел.: (4862) 75-13-18  
www.oreluniver.ru.  
E-mail: info@oreluniver.ru

*Адрес редакции:*

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»  
302030, Орловская обл., г. Орёл, ул. Московская, 77  
Тел.+7 905 856 6556  
www.oreluniver.ru.  
E-mail: srmostu@mail.ru

Материалы статей печатаются в авторской редакции

Право использования произведений предоставлено авторами на основании  
п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации

Технический редактор, корректор,  
компьютерная верстка И.В. Акимочкина

Подписано в печать 12.03.2024 г.  
Дата выхода в свет 10.04.2024 г.  
Формат 70x108/16. Усл. печ. л. 8,9  
Цена свободная. Тираж 500 экз.  
Заказ № 105

Отпечатано с готового оригинал-макета  
на полиграфической базе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»  
302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95