

Научно-технический
журнал

Издается с 2003 года

Выходит четыре раза в год

№ 4-1(83) 2023

Мир транспорта и технологических машин

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

<p>Главный редактор: Новиков А.Н. д-р техн. наук, проф.</p> <p>Заместители главного редактора: Васильева В.В. канд. техн. наук, доц. Родимцев С.А. д-р техн. наук, доц.</p> <p>Редколлегия: Агеев Е.В. д-р техн. наук, проф. (Россия) Агуреев И.Е. д-р техн. наук, проф. (Россия) Бажинов А.В. д-р техн. наук, проф. (Украина) Басков В.Н. д-р техн. наук, проф. (Россия) Власов В.М. д-р техн. наук, проф. (Россия) Глаголев С.Н. д-р техн. наук, проф. (Россия) Демич М. д-р техн. наук, проф. (Сербия) Денисов А.С. д-р техн. наук, проф. (Россия) Жаковская Л. д-р. наук, проф. (Польша) Жанказиев С.В. д-р техн. наук, проф. (Россия) Зырянов В.В. д-р техн. наук, проф. (Россия) Мартюченко И.Г. д-р техн. наук, проф. (Россия) Митусов А.А. д-р техн. наук, проф. (Казахстан) Нордин В.В. канд. техн. наук, доц. (Россия) Прентковский О. д-р техн. наук, проф. (Литва) Пржибыл П. д-р техн. наук, проф. (Чехия) Пушкарев А.Е. д-р техн. наук, проф. (Россия) Ременцов А.Н. д-р пед. наук, проф. (Россия) Сарбаев В.И. д-р техн. наук, профессор (Россия) Сиваченко Л.А. д-р техн. наук, проф. (Беларусь) Юнгмейстер Д.А. д-р техн. наук, проф. (Россия) Шарата А. д-р. наук, проф. (Польша)</p> <p>Ответственный за выпуск: Акимочкина И.В.</p> <p>Адрес редколлегии: 302030, Россия, Орловская обл., г. Орёл, ул. Московская, 77 Тел. +79058566556 https://oreluniver.ru/science/journal/mtitn E-mail: srmotu@mail.ru</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: 16376 по объединенному каталогу «Пресса России» на сайтах www.ppressa-rf.ru и www.akc.ru</p> <p>© Составление. ОГУ имени И.С. Тургенева, 2023</p>	<h2>Содержание</h2> <h3>Эксплуатация, ремонт, восстановление</h3> <p>Н.В. Подоприсора Алгоритмы диагностирования конструктивных систем высокоавтоматизированных транспортных средств..... 3</p> <p>А.С. Волохов Влияние «геометрии» зависимостей сил бокового увода на характер потери устойчивости прямолинейного движения автомобиля..... 9</p> <p>Е.В. Голов, В.Р. Шпет, Я.В. Васильев Дифференцирование жесткости кузова автомобиля для повышения точности расчетов скорости движения объектов исследования в дорожно-транспортных экспертизах..... 16</p> <p>С.В. Приймак, А.В. Дойнов, Г.И. Косенко Математическая модель определения давления в неактивном цилиндре двигателя внутреннего сгорания..... 26</p> <p>С.А. Суханов, А.Н. Новиков, Х.М. Тахтамышев Методика диагностирования процесса приработки капитально отремонтированных двигателей внутреннего сгорания автомобилей при полевых испытаниях..... 32</p> <p>Н.Е. Курносов, Н.В. Щербаков Повышение энергоэффективности кондиционера транспортных средств путем применения образующегося конденсата..... 39</p> <p>Д.О. Ломакин, В.А. Кравченко, А.В. Симушкин Совершенствование технологии ремонта роботизированных коробок переключения передач..... 45</p> <h3>Технологические машины</h3> <p>А.А. Панков, Г.И. Нечаев, В.В. Мирошников, А.С. Захарчук, Л.Я. Будиков, Д.С. Коробейников, И.Г. Михайлова Разработка и лабораторные испытания автоматизированной системы управления движением транспортно-технологических машин..... 51</p> <h3>Безопасность движения и автомобильные перевозки</h3> <p>М.С. Присяжнюк, Н.В. Подоприсора, А.В. Терентьев Выбор эффективных инструментов организации пассажирских перевозок в ленинградской области... 60</p> <p>О.Ю. Булатова, В.В. Зырянов Задачи организации дорожного движения при возникновении инцидентов во время проведения городских массовых мероприятий..... 67</p> <p>А.Н. Новиков, С.А. Жесткова Методические аспекты определения координат центра распределения материальных потоков..... 74</p> <p>В.И. Рассоха, С.Л. Надирян Моделирование показателей эффективности городского пассажирского транспорта при обслуживании нестационарных пассажиропотоков..... 81</p> <p>А.М. Насыбуллин, Л.Р. Айсина, М.Д. Домани Перспективы использования подвижного состава на комбинированном ходу для пассажирских перевозок..... 91</p> <p>Л.Е. Куценко, С.В. Куценко, А.С. Камбур, И.А. Улинец Разработка методики определения рационального выбора длительности разрешающего сигнала светофорного регулирования на основании нейронной сети..... 99</p> <p>М.В. Кулев, И.В. Колпаков Совершенствование транспортного обслуживания населения города Орла за счет разработки нового маршрута движения пассажирского транспорта..... 107</p> <h3>Вопросы экологии</h3> <p>А.Г. Шевцова, В.В. Васильева, А.А. Юнг Концепция использования средств индивидуальной мобильности как экологичного вида транспорта..... 115</p> <h3>Образование и кадры</h3> <p>Е.Н. Грядунова, М.А. Якунина, А.Д. Серебренников Использование цифровых образовательных ресурсов университета..... 121</p> <h3>Экономика и управление</h3> <p>А.С. Гришин, В.И. Сарбаев, С. Джованис, А.Г. Гусев Выбор поставщиков запасных частей для предприятий автосервиса..... 128</p> <p>Д.В. Митрошин, А.И. Петров К вопросу об идентификации современных трендов регулирования использования средств индивидуальной мобильности и велосипедов в России..... 136</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

№ 4-1(83) 2023

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

<p>Editor-in-Chief A.N. Novikov Doc. Eng., Prof.</p> <p>Associates Editor V.V. Vasileva Can. Eng. S.A. Rodimzev Doc. Eng.</p>	<h2 style="text-align: center;">Contents</h2> <h3 style="text-align: center;">Operation, Repair, Restoration</h3> <p><i>N.V. Podoprigora</i> Methods of diagnostics of structural systems of highly automated vehicles..... 3</p> <p><i>A.S. Volokhov</i> The influence of the «geometry» of the dependencies of the lateral withdrawal forces on the nature of the loss of stability of the rectilinear movement of the car..... 9</p> <p><i>E.V. Golov, V.R. Shpet, Y.V. Vasiliev</i> Differentiation of the stiffness of the car body to improve the accuracy of calculations of the speed of movement of objects of study in road transport review..... 16</p> <p><i>S.V. Priymak, A.V. Doinov, G.I. Kosenko</i> Mathematical model for determining the pressure in an inactive cylinder of an internal combustion engine..... 26</p> <p><i>S.A. Sukhanov, A.N. Novikov, H.M. Takhtamyshev</i> Method for diagnosing the process of breaking-in of overhaul internal combustion engines of cars during field tests... 32</p> <p><i>N.E. Kurnosov, N.V. Shcherbakov</i> Improving the energy efficiency of vehicle air conditioning by using the resulting condensate..... 39</p> <p><i>D.O. Lomakin, V.A. Kravchenko, A.V. Simushkin</i> Improvement of the technology of repair of robotic gearboxes..... 45</p>
<p>Editorial Board: E.V. Ageev Doc. Eng., Prof. (Russia) I.E. Agureev Doc. Eng., Prof. (Russia) A.V. Bazhinov Doc. Eng., Prof. (Ukraine) V.N. Baskov Doc. Eng., Prof. (Russia) V.M. Vlasov Doc. Eng., Prof. (Russia) S.N. Glagolev Doc. Eng., Prof. (Russia) M. Demic Doc. Eng., Prof. (Serbia) A.S. Denisov Doc. Eng., Prof. (Russia) L. Żakowska Ph.D., Doc. Sc., Prof. (Poland) S.V. Zhankaziev Doc. Eng., Prof. (Russia) V.V. Zyryanov Doc. Eng., Prof. (Russia) I.G. Martychenko Doc. Eng., Prof. (Russia) A.A. Mitusov Doc. Eng., Prof. (Kazakhstan) V.V. Nordin Can. Eng. (Russia) O. Prentkovskis Doc. Eng., Prof. (Lithuania) P. Pribyl Doc. Eng., Prof. (Czech Republic) A.E. Pushkarev Doc. Eng., Prof. (Russia) A.N. Rementsov Doc. Edc., Prof. (Russia) V.I. Sarbaev Doc. Eng., Prof. (Russia) L.A. Sivachenko Doc. Eng., Prof. (Belarus) D.A. Yungmeister Doc. Eng., Prof. (Russia) A. Szarata Ph.D., Doc. Sc., Prof. (Poland)</p>	<h3 style="text-align: center;">Technological machines</h3> <p><i>A.A. Pankov, G.I. Nechaev, V.V. Miroshnikov, A.S. Zaharchuk, L.Ya. Budikov, D.S. Korobejnikov, I.G. Mihajlova</i> Development and laboratory testing automated traffic control system transport and technological machines..... 51</p> <h3 style="text-align: center;">Road safety and road transport</h3> <p><i>M.S. Prysyazhnyuk, N.V. Podoprigora, A.V. Terentyev</i> Selection of effective tools for organizing passenger transportation in the Leningrad region..... 60</p> <p><i>O.Yu. Bulatova, V.V. Zyryanov</i> Traffic management tasks in case of emergency situations during mass urban events..... 67</p> <p><i>A.N. Novikov, S.A. Zhestkova</i> Methodological aspects of determining the coordinates of the center distribution of material flows..... 74</p> <p><i>V.I. Rassokha, S.L. Nadiryan</i> Modeling of performance indicators urban passenger transport at maintenance of non-stationary passenger flows..... 81</p> <p><i>A.M. Nasybullin, I.R. Aysina, M.D. Domani</i> Prospects for the use of road-rail-vehicle for passenger transportation..... 91</p> <p><i>L.E. Kuschenko, S.V. Kuschenko, A.S. Kambur, I.A. Ulinets</i> Development of a method for determining rational choice of the duration of traffic light control permissible signal based on a neural network..... 99</p> <p><i>M.V. Kulev, I.V. Kolpakov</i> Improvement of transport service for the population of the city of orel through the development of a new route for passenger transport..... 107</p>
<p>Person in charge for publication: I.V. Akimochkina</p>	
<p>Editorial Board Address: 302030, Russia, Orel, Orel Region, Moskovskaya str., 77 Tel. +7 (905)8566556 https://oreluniver.ru/science/journal/mtitm E-mail: srmostu@mail.ru</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: 16376 in a union catalog «The Press of Russia» on sites www.pressa-ru.ru www.akc.ru</p>	
<p>© Registration. Orel State University, 2023</p>	<h3 style="text-align: center;">Ecological Problems</h3> <p><i>A.G. Shevtsova, V.V. Vasileva, A.A. Jung</i> The concept of using means of individual mobility as an eco-friendly mode of transport..... 115</p> <h3 style="text-align: center;">Education and Personnel</h3> <p><i>E.N. Gryadunova, M.A. Yakynina, A.D. Serebrennikov</i> Using digital educational university resources..... 121</p> <h3 style="text-align: center;">Economics and Management</h3> <p><i>A.S. Grishin, V.I. Sarbayev, S. Dzjovanniss, A.G. Gusev</i> Selection of suppliers of spare parts for car service enterprises..... 128</p> <p><i>D.V. Mitroshin, A.I. Petrov</i> On the issue of identification of modern trends of changing the regulation of the use of personal mobility devices and bicycles in Russia..... 136</p>

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

Научная статья

УДК 629.072

doi:10.33979/2073-7432-2023-4-1(83)-3-18

Н.В. ПОДОПРИГОРА

**АЛГОРИТМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ СИСТЕМ
ВЫСОКОАВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

Аннотация. Статья посвящена формированию комплексного решения вопроса управления техническим состоянием высокоавтоматизированного транспортного средства (ВАТС) на всех этапах его жизненного цикла.

Цель написания работы – публикация результатов по разработке алгоритмов, структурных и математических моделей диагностирования конструктивных систем ВАТС.

Научная новизна заключается в разработке механизмов адаптивного и эффективного управления индивидуализацией регламента технического обслуживания и ремонта с целью обеспечения эксплуатационной надежности ВАТС и всех его конструктивных элементов. Рассматривается этап эксплуатации в жизненном цикле ВАТС, оснащенного киберфизическими системами. Впервые вводится понятие индивидуального регламента технического обслуживания и ремонта (ИРТОиР), позволяющее предложить водителям/пользователям ВАТС индивидуальную программу по техническому обслуживанию и ремонту с учетом их стиля, режима вождения и условий эксплуатации.

Ключевые слова: высокоавтоматизированное транспортное средство, техническое обслуживание и ремонт, техническое состояние, инструментальный контроль, диагностик

Введение

В ходе проведенного анализа современных трендов инжиниринга в области автомобилестроения, наблюдается тенденция наследования классической компоновочной архитектуры агрегатно-узлового исполнения ТС у большинства автопроизводителей. Подобное решение остается основой и применяется автоконцернами как устоявшаяся технологически апробированная база. Демонстрируя достижения в совершенствовании конструктивных элементов и вспомогательных систем, производители современных ТС пытаются соответствовать тренду инновационной мобильности (Mobility as a Service, MaaS), радикально не изменяя пассивную безопасность [1]. Трансформация существующих бизнес-моделей автомобильной промышленности, особенно в эпоху развития цифровой экономики, заставляет производителей все больше отдавать предпочтение ответам на вызовы внешней среды, нежели вопросам надежности производимых ими ТС и увеличению их срока службы [2].

С повышением уровня автоматизации систем управления, а также перехода компонентов ТС от частичной к полной роботизации, наблюдается тенденция к трансформации в цифровое управление высокоавтоматизированными транспортными средствами (ВАТС) и полного интегрирования в цифровую платформу интеллектуальных транспортных средств (ЦП ИТС), исключая человека из процесса управления [3-6].

Сохранение платформенного размещения конструктивных систем в автономных ТС, как устоявшаяся парадигма исполнения ТС в обобщенном виде, существенно сдерживает преобразование компоновочных решений ВАТС и затормаживает развитие системы их технического обслуживания и ремонта (ТО и Р). Перспектива такой тенденции не способна изменить показатели эксплуатационной надежности до более высокого уровня в сравнении с принятой для автоматизации базовой платформой ТС.

Сформулированная проблема наталкивает на формирование методологии комплексного решения вопроса управления техническим состоянием ВАТС на всех этапах его жизненного цикла. Предложенная концепция достигается путем разработки механизмов адаптивного и эффективного управления индивидуализацией регламента технического обслуживания, обеспечивая тем самым эксплуатационную надежность ВАТС и всех его конструктивных элементов.

Материал и методы

Применяя системный подход, автор предлагает алгоритмы, структурные и математические модели диагностирования конструктивных систем. Рассматривается этап эксплуатации в жизненном цикле ВАТС, оснащенного киберфизическими системами (КФС). Впервые вводится понятие индивидуального регламента технического обслуживания и ремонта (ИР-

ТОиР), которое позволяет предложить водителям/пользователям ВАТС персональную программу по ТО и Р, с учетом их стиля, режима вождения и условий эксплуатации.

Теория / Расчет

Поэтапное достижение поставленной цели осуществляется посредством разработки комплекса структурных логических моделей, наглядно демонстрирующих предметную область исследования и предлагаемые решения [7, 8].

Автором предложена структурная логическая схема этапа эксплуатации в жизненном цикле ВАТС с учетом внедрения индивидуализации регламента технического обслуживания (рис. 1).



Рисунок 1 – Структурная логическая схема этапа эксплуатации в жизненном цикле ВАТС

В основе схемы лежит оснащение киберфизическими системами (КФС) серийного ТС, с последующей трансформацией ВАТС в промышленный интернет вещей (Industrial Internet of Things, IIoT) [3-6]. Представленной схемой описывается текущий этап развития удаленного мониторинга путем внедрения киберфизических систем (КФС), а также интеграции объема данных в промышленный интернет вещей (IIoT) [9-14].

Передача данных о фактическом техническом состоянии ВАТС лицу, принимающему решение по организации мероприятий по ТО и Р, адаптирована на формирование и анализ «цифровой тени» эксплуатации ВАТС. В таком случае, управлению могут подлежать исключительно вопросы регламента ТО и Р.

В предложенной эволюции КФС и интеграции данных в IIoT система управления эксплуатационной надежностью ВАТС может быть представлена в виде полимодельного комплекса, включающего в себя инструменты контроля и управления системами конструктивной безопасности $S(z_i)$. Такое решение позволит обеспечить эффективный контроль и управление за эксплуатацией ВАТС в режиме реального времени путем построения диагностических моделей, предшествующих различным исследованиям технического состояния современных ТС [15-17].

В перспективе, полученные результаты исследований формируют структурную модель объекта диагностирования (ВАТС). Это позволяет: 1) оценить выполняемые функции модулей ВАТС; 2) определить режимы его работы, состав элементов и построить информационные каналы между ними; 3) обнаружить каналы обратных связей и оценить возможность их разрыва в момент диагностирования; 4) выявить признаки и определить параметры нормального функционирования системы и рабочих сигналов; 5) определить диапазоны измерения параметров при нормальном функционировании; 6) выявить характерные отказы конструктивных элементов систем ВАТС и их сопряжений с другими системами и т.д.

Для создания эффективной системы инструментального контроля и диагностирования любой конструктивной системы ВАТС целесообразно сформировать методологическую базу, содержащую следующие отличительные признаки: 1) точную формулировку цели; 2) построение многоуровневой декомпозиции; 3) построение каналов управления и каналов обратной связи между подсистемами; 4) анализ с последующим синтезом фрагментов, направленных на достижение поставленной цели.

В дополнение к созданию эффективных инструментов контроля и диагностирования, системный подход следует рассматривать как согласованный выбор альтернатив между со-

временными конструкторскими решениями и технологическими возможностями, сложностью программных комплексов и уровнем автоматизации, глубиной проводимого диагностирования, надежностью и стоимостью.

При организации такого подхода необходимо решить две основные диагностические задачи. Первая (прямая) – контроль технического состояния БАТС, вторая (обратная) – выявление дефектов на этапе обкатки, а также в процессе эксплуатации и на стадии ремонта. Известно, что в технической диагностике обе задачи являются выражением двух фундаментальных подходов общей теории систем, в частности: 1) задача контроля, как выражение функционального подхода; 2) задача обнаружения неисправностей(дефектов), как выражение структурного подхода. Для решения первой задачи, как правило, применяют абстрактные модели, для второй – структурные. Важно отметить, что каждая диагностическая модель, применяемая для поиска неисправностей(дефектов), обладает индивидуальными особенностями. Построение такой модели требует разработки алгоритма морфологического анализа диагностируемого узла/агрегата/системы БАТС (рис. 2) [18].

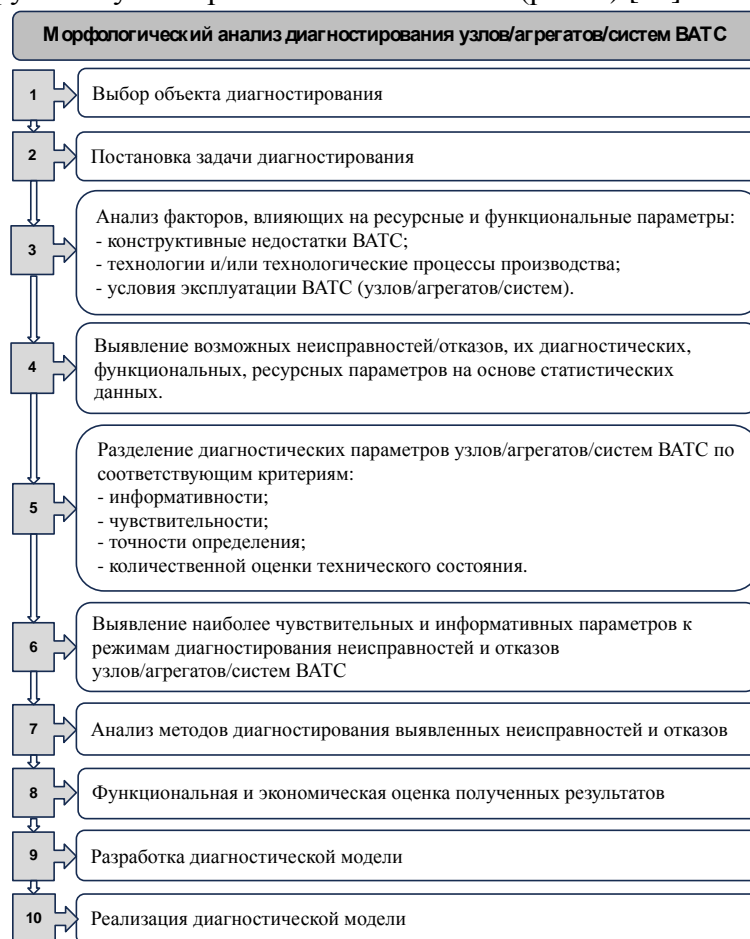


Рисунок 2 – Алгоритм морфологического анализа диагностирования БАТС

Каждая конструктивная система БАТС, как объект инструментального контроля и диагностирования, представляет собой совокупность функциональных устройств, отличающихся по своему содержанию, назначению и принципу работы. Процесс ее диагностирования неразрывно связан с передачей стимулирующих сигналов, изменением реакций и обработкой потока информационных данных по сформированным алгоритмам с целью получения фактических значений контролируемых параметров.

Как показывает опыт экспертных исследований, характерной особенностью наблюдаемых при инструментальном контроле сигналов является наличие в их составе возмущений(помех), источником которых, может служить и сама диагностируемая система.

Результаты и обсуждение

На основании ранее проведенных исследований и опубликованных работ, автором представлена обобщенная структурная математическая модель диагностирования систем конструктивной безопасности БАТС (рис. 3) [15-17].

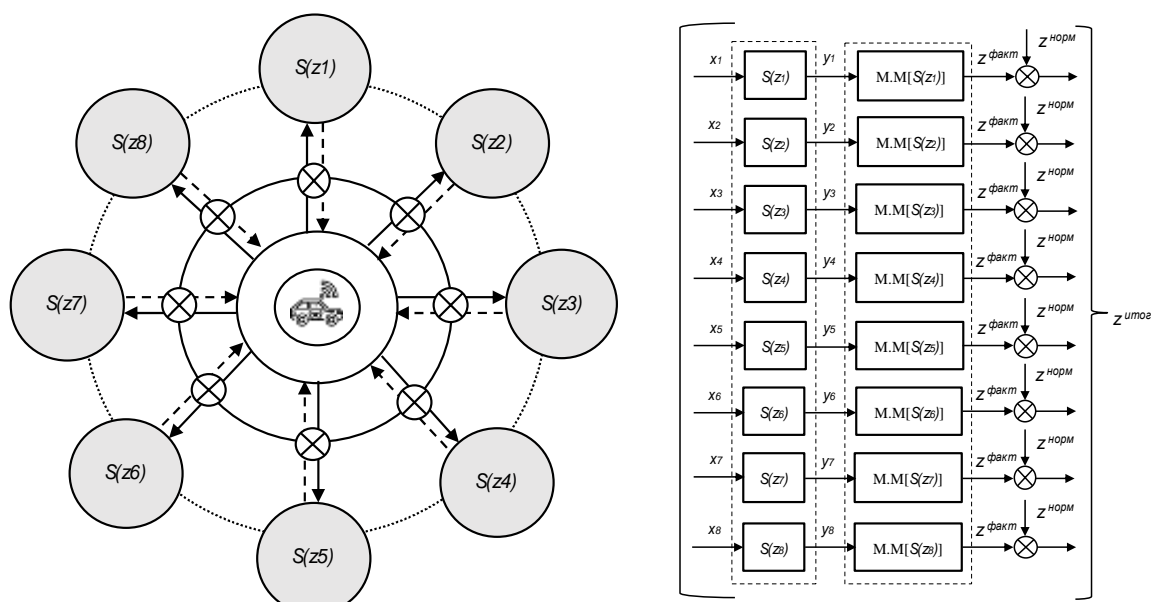


Рисунок 3 - Структурная математическая модель диагностирования БАТС:

$S_{(z1)}... S_{(zn)}$ – системы конструктивной безопасности; $M.M[S_{(z1)}]... M.M[S_{(zn)}]$ – математическая модель диагностируемой системы; $x_1... x_m$ – входные переменные; $y_1... y_n$ – внутренние переменные; $z^{факт}$ – параметр технического состояния (фактическое значение); $z^{норм}$ – параметр технического состояния (нормативное значение); $z^{итог}$ – параметр технического состояния (итоговое значение)

Математическая модель исправного состояния диагностируемой системы БАТС, с учетом фактора времени продолжительности эксплуатации (t), может быть записана в виде выходной функции:

$$z^{итог} = f(x_m, y_n, t).$$

В процессе эксплуатации БАТС подвергаются изменению и внутренние переменные $y_1... y_n$. Результат таких изменений не исключает вероятности возникновения отказов, которые могут быть как одиночными, так и кратными.

Таким образом, можно записать математическую модель и для i -го неисправного состояния диагностируемой системы:

$$z^{итог i} = f^i(x_m, y_n^i, t).$$

Разработка алгоритмов диагностирования конструктивных систем БАТС представляется возможной при определении количества и содержания проводимых операций ϵ_j , где $j=1,2,3$. Каждая операция рассматривается как информационный запрос δ_j с целью получения обратной связи о состоянии диагностируемой системы [13].

Значение воздействия φ_j при элементарной проверке $\epsilon_j \in \Pi$ определяется составом входных переменных $x_1... x_m$ и последовательностью времени t их значений x_i , включая исходное значение внутренних переменных y^i . Результат проверки ϵ_j можно охарактеризовать составом $[y]$ контрольных измерений (точек), а также и значений R_j^i , которые зависят от технического состояния диагностируемой системы. Отсюда, R_j^i (в общем случае) можно представить в виде последовательности $[y]_j$ – мерных векторов и описать, как функцию значения φ_j воздействия:

$$R_j^i = f^i(\varphi_j, [y]_j).$$

Упрощенный вариант для исправной диагностируемой системы можно записать в виде:

$$R_j = f(\epsilon_j).$$

Аналогично и для неисправной системы:

$$R_j^i = f^i(\epsilon_j).$$

Автором статьи вводится новое понятие - индивидуальный регламент технического обслуживания и ремонта (ИРТОиР) - комплекс регламентированных заводом-изготовителем мероприятий (операций), направленных на поддержание работоспособности БАТС и/или его узлов (систем) и агрегатов, с учетом индивидуальных особенностей водителя/пользователя БАТС (стиля, режима вождения) и условий эксплуатации с целью прогнозирования остаточного ресурса расходных материалов (деталей), снижения риска возникновения отказов и неисправностей.

Отличительной особенностью ИРТО является возможность адаптивного управления эксплуатационной надежностью БАТС на протяжении всего его жизненного цикла на осно-

вании предоставляемой в режиме реального времени информации о фактическом состоянии ВАТС и/или конкретного узла (системы).

Выводы

Корректно выбранная диагностическая модель может служить не только для определения связей между диагностическими сигналами и параметрами состояния, но и в значительной степени способствовать предопределению выбора способов решения задач, достигая максимальной точности(объективности) в вопросах диагностических исследований [19, 20].

Применение математических(диагностических) моделей может способствовать установлению связей между параметрами состояния и диагностическими параметрами, а также составлению алгоритмов технического диагностирования исследуемых объектов.

Применение аналитических моделей может способствовать как решению оптимизационных задач, так и получению соотношения между состояниями объекта диагностирования, его диагностических параметров и качественных показателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nietanen S. «Mobility as a Service» – The new transport model? [Электронный ресурс] / Eurotransport. - Vol. 12. – 2014. - Режим доступа: <https://silo.tips/download/sampo-nietanen-ceo-its-finland>.
2. Лапидус Л.В., Шорохова В.Н. Трансформация бизнес-моделей в автомобильной промышленности в условиях развития беспилотных технологий [Электронный ресурс] / Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2023. – №2. – С. 19-33. - Режим доступа: <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-2-19>.
3. ГОСТ Р 70249-2022. Системы искусственного интеллекта на автомобильном транспорте. Высокоавтоматизированные транспортные средства. Термины и определения. – М. ФГБУ «РСТ», 2022.
4. Жанказиев С.В., Воробьев А.И., Морозов Д.Ю. Тенденции развития автономных интеллектуальных транспортных систем в России // Транспорт Российской Федерации. – 2016. - №5(66). – С. 26-28.
5. Солодкий А.И. Развитие интеллектуальных транспортных систем в России: проблемы и пути их решения. Новый этап // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2020. – №6. – С. 10-19.
6. Беспилотники на дорогах России (уголовно-правовые проблемы): Монография / А.И. Воробьев, С.В. Жанказиев, С.А. Иванов, А.И. Коробеев, С.В. Маликов, А.И. Чучаев; Под. ред. А.И. Чучаева. - Москва: Проспект, 2022. – 520 с.
7. Кравченко П.А., Жанказиев С.В., Олещенко Е.М. Пофакторное управление уровнем обеспечиваемой безопасности на дорогах России // Транспорт Российской Федерации. – 2021. - №5-6(96-97). – С. 3-9.
8. Кравченко П.А., Олещенко Е.М. Системный подход в управлении безопасностью дорожного движения в Российской Федерации // Транспорт Российской Федерации. – 2018. - №2(75). – С. 14-18.
9. Matthew N.O. Sadiku, Mahamadou Tembely, Sarhan M. Musa. Internet of Vehicles: An Introduction // International Journals of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering. – Vol. 8. - 2018. – P. 11-13. - DOI: 10.23956/ijarcse.v8i1.512.
10. Cheng J. et al.. Routing in Internet of vehicles: a review // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. - Vol. 16. - №5. – 2015. - P. 2339-2352.
11. Yi He, Alireza Jolfaei, and Xi Zheng. Cyber-Physical Systems in Transportation // Intelligent Cyber-Physical Systems for Autonomous Transportation. – 2022. - P. 129-149. - DOI:10.1007/978-3-030-92054-8_8.
12. Deka L., Khan S.M., Chowdhury M., Ayres N. Transportation cyber-physical system and its importance for future mobility // Transportation cyber-physical systems. – 2018. - P. 1-20.
13. Lin J., Yu W., Yang X., Yang Q., Fu X., Zhao W. A real-time en-route route guidance decision scheme for transportation-based cyber physical systems // IEEE Transactions on Vehicular Technology. - 2017. - №66(3). – P. 2551-2566.
14. Osman Lindov, Amel Kosovac, Amel Kosovac. A new step forward of industry 4.0 in transport and logistic // International Scientific Conference «Application of Industry 4.0 – An opportunity for a new step forward in all industrial branches». – 2022. - DOI:10.5644/PI2022.202.26.
15. Подопригра Н.В., Васильев Я.В. Модели управления эксплуатационной надежностью высокоавтоматизированных транспортных средств // Грузовик. – 2023. – №8. – С. 20-25.
16. Подопригра Н.В. Системный подход в информационном обеспечении системы «УДД-ТС-Д-ВС» // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – №2(77). – С. 70-75.
17. Подопригра Н.В., Евтюков С.А. Перспективные модели оценки технического состояния тормозных систем высокоавтоматизированных транспортных средств // Воронежский научно-технический вестник. – 2023. – Т.2. - №2(44). – С. 65-70. - DOI : 10.34220/2311-8873-2023-65-70.
18. Мигаль В.Д. Техническая диагностика автомобилей. Теоретические основы: Учебное пособие. - Х.: Майдан, 2014. – 516 с.
19. Жилейкин М.М., Котиев Г.О. Моделирование систем транспортных средств: учебник. - Москва: МГТУ им Н.Э. Баумана, 2020. – 239 с.
20. Разработка беспилотных транспортных средств / Лю Шаошань, Ли Лиюнь, Тан Цзе, Ву Шуаш, Жан-Люк Годье; Науч. ред. В.С. Яценков; Пер. с англ. П.М. Бамбоковой. - М.: ДМК Пресс, 2022. – 246 с.

Подопригра Николай Владимирович

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес: 190003, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Курляндская, д. 2/5

К.т.н., доцент

E-mail: n.v.podoprigha@gmail.com

METHODS OF DIAGNOSTICS OF STRUCTURAL SYSTEMS OF HIGHLY AUTOMATED VEHICLES

Abstract. The article is devoted to the formation of a comprehensive solution to the issue of managing the technical condition of a highly automated vehicle at all stages of its life cycle.

The purpose of writing the paper is to publish the results on the development of algorithms, structural and mathematical models of diagnostics of structural systems of highly automated vehicle.

Scientific novelty consists in the development of mechanisms of adaptive and effective management of individualization of maintenance and repair regulations in order to ensure the operational reliability of a highly automated vehicle and all its structural elements. The operational stage in the life cycle of a highly automated vehicle equipped with cyber-physical systems is considered. For the first time the concept of an individual maintenance and repair schedule (IMRS) is introduced, which allows to offer drivers/users of a highly automated vehicle an individual maintenance and repair program taking into account their style, driving mode and operating conditions.

Keywords: highly automated vehicle, maintenance and repair, technical condition, instrumental control, diagnostics

BIBLIOGRAPHY

1. Hietanen S. «Mobility as a Service» - The new transport model? [Elektronnyy resurs] / Eurotransport. - Vol. 12. - 2014. - Rezhim dostupa: <https://sil0.tips/download/sampo-hietanen-ceo-its-finland>.
2. Lapidus L.V., Shorokhova V.N. Transformatsiya biznes-modeley v avtomobil'noy promyshlennosti v usloviyakh razvitiya bespilotnykh tekhnologiy [Elektronnyy resurs] / Intellekt. Innovatsii. Investitsii. - 2023. - №2. - S. 19-33. - Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-2-19>.
3. GOST R 70249-2022. Sistemy iskusstvennogo intellekta na avtomobil'nom transporte. Vysokoavtomatizirovannyye transportnye sredstva. Terminy i opredeleniya. - M. FGBU «RST», 2022.
4. Zhankaziev S.V., Vorob'ev A.I., Morozov D.Yu. Tendentsii razvitiya avtonomnykh intellektual'nykh transportnykh sistem v Rossii // Transport Rossiyskoy Federatsii. - 2016. - №5(66). - S. 26-28.
5. Solodkii A.I. Razvitie intellektual'nykh transportnykh sistem v Rossii: problemy i puti ikh resheniya. Novyy etap // Intellekt. Innovatsii. Investitsii. - 2020. - №6. - S. 10-19.
6. Bespilotniki na dorogakh Rossii (ugolovno-pravovye problemy): Monografiya / A.I. Vorob'ev, S.V. Zhankaziev, S.A. Ivanov, A.I. Korobeev, S.V. Malikov, A.I. Chuchayev; Pod. red. A.I. Chuchayeva. - Moskva: Prospekt, 2022. - 520 s.
7. Kravchenko P.A., Zhankaziev C.V., Oleshchenko E.M. Pofaktornoe upravlenie urovnem obespechivayemoy bezopasnosti na dorogakh Rossii // Transport Rossiyskoy Federatsii. - 2021. - №5-6(96-97). - S. 3-9.
8. Kravchenko P.A., Oleshchenko E.M. Sistemnyi podkhod v upravlenii bezopasnost'yu dorozhnogo dvizheniya v Rossiyskoy Federatsii // Transport Rossiiskoi Federatsii. - 2018. - №2(75). - S. 14-18.
9. Matthew N.O. Sadiku, Mahamadou Tembely, Sarhan M. Musa. Internet of Vehicles: An Introduction // International Journals of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering. - Vol. 8. - 2018. - P. 11-13. - DOI: 10.23956/ijarcsse.v8i1.512.
10. Cheng J. et al. Routing in Internet of vehicles: a review // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. - Vol. 16. - №5. - 2015. - R. 2339-2352.
11. Yi He, Alireza Jolfaei, and Xi Zheng. Cyber-Physical Systems in Transportation // Intelligent Cyber-Physical Systems for Autonomous Transportation. - 2022. - R. 129-149. - DOI:10.1007/978-3-030-92054-8_8.
12. Deka L., Khan S.M., Chowdhury M., Ayres N. Transportation cyber-physical system and its importance for future mobility // Transportation cyber-physical systems. - 2018. - R. 1-20.
13. Lin J., Yu W., Yang X., Yang Q., Fu X., Zhao W. A real-time en-route route guidance decision scheme for transportation-based cyber physical systems // IEEE Transactions on Vehicular Technology. - 2017. - №66(3). - R. 2551-2566.
14. Osman Lindov, Amel Kosovac, Amel Kosovac. A new step forward of industry 4.0 in transport and logistic // International Scientific Conference «Application of Industry 4.0 - An opportunity for a new step forward in all industrial branches». - 2022. - DOI:10.5644/PI2022.202.26.
15. Podoprighora N.V., Vasil'ev Ya.V. Modeli upravleniya ekspluatatsionnoy nadezhnost'yu vysokoavtomatizirovannykh transportnykh sredstv // Gruzovik. - 2023. - №8. - S. 20-25.
16. Podoprighora N.V. Sistemnyy podkhod v informatsionnom obespechenii sistemy «UDD-TS-D-VS» // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2022. - №2(77). - S. 70-75.
17. Podoprighora N.V., Evtyukov S.A. Perspektivnye modeli otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya tormoznykh sistem vysokoavtomatizirovannykh transportnykh sredstv // Voronezhskiy nauchno-tekhnicheskii vestnik. - 2023. - T.2. - №2(44). - S. 65-70. - DOI : 10.34220/2311-8873-2023-65-70.
18. Migal' V.D. Tekhnicheskaya diagnostika avtomobiley. Teoreticheskie osnovy: Uchebnoe posobie. - H.: Maydan, 2014. - 516 s.
19. Zhileykin M.M., Kotiev G.O. Modelirovanie sistem transportnykh sredstv: uchebnik. - Moskva: MGTU im N.E. Bauman, 2020. - 239 s.
20. Razrabotka bespilotnykh transportnykh sredstv / Lyu Shaoshan', Li Liyun', Tan TSze, Vu Shuash, Zhan-Lyuk God'e; Nauch. red. V.S. Yatsenkov; Per. s ang. P.M. Bambokovoy. - M.: DMK Press, 2022. - 246 s.

Podoprighora Nikolay Vladimirovich

St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

Address: 190003, Russia, St. Petersburg, Kurlyandskaya str., 2/5

Candidate of technical sciences, Email: n.v.podoprighora@gmail.com

ВЛИЯНИЕ «ГЕОМЕТРИИ» ЗАВИСИМОСТЕЙ СИЛ БОКОВОГО УВОДА НА ХАРАКТЕР ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос определения параметров колесного экипажа в окрестностях прямолинейного движения на потерю устойчивости. Ключевым моментом является определение влияния неоднородной жесткости шин, конструктивной и приобретенной в процессе эксплуатации, на показатели безопасности движения транспортного средства.

Ключевые слова: автомобиль, устойчивость, колесо, поверхность, траектория движения, модель, угловой эффект, радиус поворота

Введение

Предложен метод анализа k-параметрических семейств стационарных состояний динамической системы, моделирующей движение автомобиля. Определено влияние на динамические качества (устойчивость, управляемость) объекта характерных конструктивных параметров (в первую очередь - характеристик шин), имеющих дефектов симметрии, силовых возмущений (боковой ветер, крен и пр.). Для проверки достоверности результатов, связанных с построением бифуркационных множеств в пространстве двух управляющих параметров, используется численно - аналитический метод продолжения по двум параметрам [1].

Материал и методы

В случае модели «идеального» экипажа, у которого продольная плоскость, проходящая через середины колесных осей, является плоскостью геометрической и динамической симметрии, нахождение особых точек в окрестности прямолинейного движения сводится к решению системы ($\cos \theta \approx 1$) [2]:

$$-\frac{v}{g}\omega + \frac{\bar{Y}_1(\delta_1)b}{l} + \frac{\bar{Y}_2(\delta_2)a}{l} = 0; \quad (1)$$

$$\bar{Y}_1(\delta_1) - \bar{Y}_2(\delta_2) = 0.$$

Здесь $\bar{Y}_i(\delta_i) = Y_i(\delta_i) / N_i$ - безразмерные приведенные боковые реакции опорной плоскости; δ_1, δ_2 - приведенные углы бокового увода колесных осей. В достаточно малой окрестности начала координат (в окрестности прямолинейного режима) будут справедливы соотношения, связывающие фазовые переменные с приведенными углами увода автомобиля

$$\omega = \frac{v(\theta + \delta_2 - \delta_1)}{l};$$

$$u = \frac{v}{l}(b\theta - b\delta_1 - a\delta_2).$$

Теория

Именно этот идеализированный случай предоставляет возможность установить влияние «геометрии» зависимостей сил бокового увода $\bar{Y}_i(\delta_i)$ на характер потери устойчивости прямолинейного движения автомобиля (опасный-безопасный), и сопоставить ее с особенностями соответствующего бифуркационного множества [3].

Задача отыскания решений системы (1) в данном случае сводится к одному нелинейному уравнению

$$v^2 (gl)^{-1} (\theta + \delta_2 - \delta_1) = Y(\delta_2 - \delta_1).$$

Бифуркационные значения параметров ν и θ определяют многообразие всех касательных к кривой $\gamma(\delta_2 - \delta_1)$, т.е. двойственную кривую. Точки возврата («каспы») двойственной кривой соответствуют точкам перегиба исходной кривой $\gamma(\delta_2 - \delta_1)$. Так, в случае монотонной зависимости сил увода от угла увода $\bar{\gamma}_i(\delta_i) = \kappa_i \delta_i (1 + \kappa_i^2 \varphi_i^2 \delta_i^2)^{-1/2}$, имеющей характер кривой насыщения, «неподвижная» кривая $\gamma(\delta_2 - \delta_1)$ может иметь три точки перегиба, а соответствующее бифуркационное множество – три точки возврата. Симметричному «каспу» соответствует трехкратный стационарный режим при $\nu = \nu_{kp}^+$ и $\theta = 0$ (потеря устойчивости прямолинейного режима движения).

Анализ устойчивости приведенной модели в критическом по Ляпунову случае одного нулевого корня (исследовалась устойчивость прямолинейного движения на границе области устойчивости $\nu = \nu_{kp}^+$) имеет простую геометрическую интерпретацию. Выпуклость графика функции $\gamma(\delta_2 - \delta_1)$ в окрестности нуля является условием безопасной потери устойчивости прямолинейного движения автомобиля, вогнутость – условием ее опасности. В случае безопасной потери устойчивости в окрестности неустойчивого прямолинейного движения существует пара устойчивых круговых режимов, ограничивающих рост возмущений [4].

Бифуркационное множество может быть получено в параметрическом виде

$$\begin{aligned} \theta &= Y \cdot G'(Y) - G(Y); \\ \nu &= [gl / G'(Y)]^{1/2}, \quad Y \in (-\varphi', \varphi''), \end{aligned} \quad (2)$$

где $G(Y) = \delta_2 - \delta_1$ является обратной функцией для $\gamma = \gamma(\delta_2 - \delta_1)$.

Смена характера выпуклости при изменении параметров системы возможна с приходом в начало координат других точек перегиба (тогда в нуле реализуется высший перегиб), а в соответствующей точке $(0, \nu_{kp}^+)$, бифуркационного множества появляется особенность более высокого ранга – особенность «бабочки».

Проанализируем эту возможность для аппроксимации

$$\bar{\gamma}_i(\delta_i) = \kappa_i \delta_i (1 + \kappa_i^2 \varphi_i^2 \delta_i^2)^{-1/2}; \quad \kappa_i = k_i / G_i.$$

Анализ на выпуклость проведем для обратной функции $G(Y)$:

$$G(Y) = (\kappa_2^{-1} - \kappa_1^{-1})Y + \frac{1}{2}(\kappa_2^{-1} \varphi_2^{-2} - \kappa_1^{-1} \varphi_1^{-2})Y^3 + \dots$$

Здесь $\kappa_1 > \kappa_2$: имеется критическая скорость ν_{kp}^+ , причем $(\nu_{kp}^+)^2 = \kappa_1 \kappa_2 gl (\kappa_1 - \kappa_2)^{-1}$. Если график зависимости лежит выше касательной в нуле $(\kappa_2^{-1} \varphi_2^{-2} > \kappa_1^{-1} \varphi_1^{-2})$, имеем вогнутость кривой $\gamma = \gamma(\delta_2 - \delta_1)$, ниже $(\kappa_2^{-1} \varphi_2^{-2} < \kappa_1^{-1} \varphi_1^{-2})$ – выпуклость. Таким образом, соотношения

$$\begin{aligned} \kappa_1 &> \kappa_2; \\ \kappa_2 \varphi_2^2 &> \kappa_1 \varphi_1^2 \end{aligned}$$

определяют условия безопасной потери устойчивости прямолинейного движения идеальной модели автомобиля (определяющими параметрами в этом случае являются коэффициенты сцепления на передней и задней осях автомобиля φ_i) [5]. Рисунок 1 а, б иллюстрирует влияние на бифуркационное множество определяющего параметра ($\varphi_1 = 0.75$; рис. 1 а, $\varphi_1 = 0.65$; рис. 1 б): при уменьшении φ_1 ($\varphi_1^0 = \varphi_2^0 = 0.8$;) в бифуркационном множестве появляются дополнительные «каспы», которые при критическом значении $\varphi_1 = \varphi_1^*$ сливаются с симметричным, меняя опасный характер потери устойчивости прямолинейного движения на безопасный (при $\varphi_1 < \varphi_1^*$; $\varphi_1^* = \varphi_2^0 (\kappa_2 / \kappa_1)^{1/2} > 0.65$) имеет место безопасная потеря устойчивости прямолинейного движения).

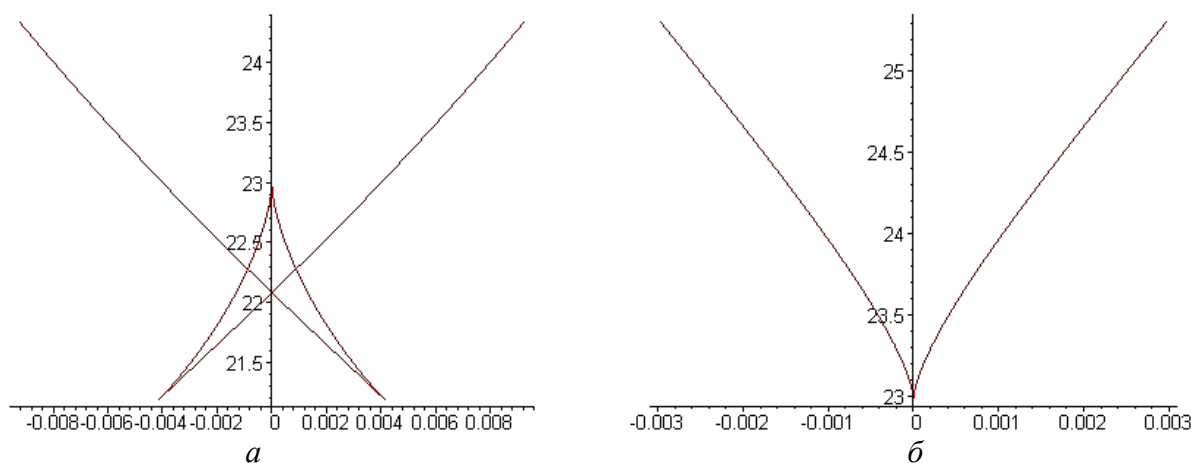


Рисунок 1 – Зависимость критической скорости от угла увода при коэффициенте сцепления:

$$a - \varphi_1 = 0.75, \quad б - \varphi_1 = 0.65$$

Построение бифуркационного множества для модели автомобиля с асимметричной зависимостью сил увода

Рассмотрим зависимость вида

$$\bar{Y}_i(\delta_i) = \kappa_i(\delta_i \pm \Delta_i)(1 + \kappa_i^2 \varphi_i^2(\delta_i \pm \Delta_i)^2)^{-1/2} \pm \alpha_i, \quad (3)$$

подобная асимметричная зависимость может быть вызвана как производственным дефектом шины (жесткостная неоднородность, конусность), так и «запрограммированной» асимметрией упругих свойств шины (несимметричным рисунком протектора, развалом их установки и т.д.). Зависимость (3) охватывает как частный случай наличие постоянных силовых возмущений [6].

Асимметричная зависимость сил бокового увода может быть представлена в виде суммы нечетной функции (идеальная зависимость) и четной функции (дефекта симметрии). Последняя, наряду с симметричной, может варьироваться с целью получения требуемых качеств управляемости и устойчивости [8].

Нарушение динамической симметрии модели автомобиля находит свое отражение в «геометрии» бифуркационного множества, следовательно, может быть оценено количественно; некоторый набор параметров асимметрии (α_i, Δ_i) :

$$\alpha_1 = -0,03; \Delta_1 = -0,01;$$

$$\alpha_2 = -0,02; \Delta_2 = 0,01;$$

приводит к нарушению симметрии соответствующего бифуркационного множества, которое приобретает очертание характерное для сечения особенности «ласточкин хвост» (объединение двух сборок) [10]. На рисунке 2а представлено соответствующее бифуркационное множество и фазовый портрет (рис. 2б), иллюстрирующий динамическое поведение модели в наиболее неблагоприятной заносоопасной зоне («0»). В этой области управляемых параметров стационарные режимы движения невозможны, так при $(\theta = 0, v = 18 \text{ м/с}) \in (0)$ все фазовые траектории по истечении некоторого времени вливаются в «мощный» нестационарный поток, после чего наблюдается устойчивая тенденция роста боковой составляющей скорости центра масс автомобиля (боковой занос) [9].

Некоторую обобщенную оценку асимметрии модели задает положение вертикального каспа, которому соответствует трехкратный круговой режим, а не прямолинейный, как в случае симметричной модели (параметры θ^* и v^* , отвечающие этому режиму, определяются из условия касания «подвижной» прямой и «неподвижной» кривой в соответствующей точке перегиба «неподвижной» кривой); другой количественной оценкой асимметрии модели является значение угла поворота $\theta_0 \neq 0$, при котором реализуется прямолинейный режим движения ($\theta_0 = 0,02117861140$ рад, $v^+ = 23,01474912$ м/с – критические значения параметров, при

которых теряет устойчивость прямолинейный режим движения; численные значения параметров θ^* и v^* практически совпадают с θ_0 и v^+).

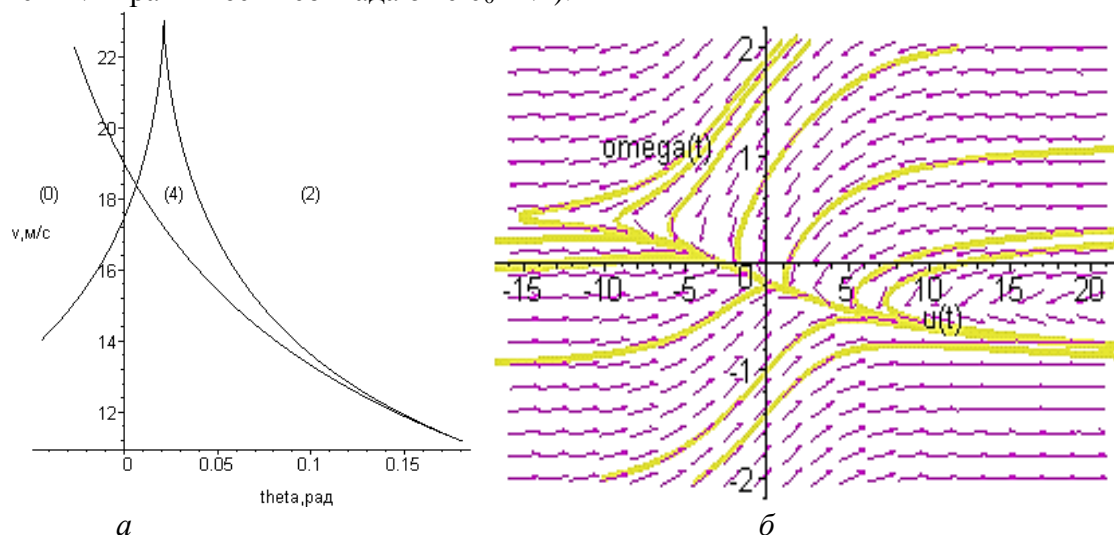


Рисунок 2 - Бифуркационное множество (а) и фазовый портрет (б) модели автомобиля с асимметричной зависимостью сил увода

Таким образом, в рамках данного подхода возможно предварительное тестирование различных шин с наперед запрограммированной асимметрией упругих свойств с точки зрения их суммарного влияния на устойчивость и управляемость автомобиля (проверка симметричности бифуркационного множества; возможное расширение области параметров, обеспечивающих реализацию устойчивых стационарных состояний) [11].

Реализация метода при аппроксимации сил бокового увода с помощью «магической формулы» колеса [7]):

$$Y_i = -D_i \sin(C_i \arctan(-B_i(\delta_i + Sh_i) + E_i(B_i(\delta_i + Sh_i) - \arctan(B_i(\delta_i + Sh_i)))))) + Sv_i; i = 1, 2.$$

Подходящим выбором констант «магическая» формула реализует самую «общую геометрию» зависимости сил увода от углов увода (от монотонно возрастающей до «ниспадающей» в области больших углов увода), а также зависимости «пяточного» момента от угла увода (при больших углах увода пяточный момент приобретает дестабилизирующий эффект) [12-15]. Более «изысканная геометрия» зависимости сил увода от углов увода должна отразиться на особенностях соответствующего бифуркационного множества, кроме того, интересно оценить влияние пяточного момента и его «геометрии» на динамические качества автомобиля в широком диапазоне углов увода (обычно влиянием пяточного момента пренебрегают из-за его малости по сравнению с силой увода, либо учитывают его влияние лишь при определении критической скорости прямолинейного движения).

Прямая реализация ранее разработанных методов построения бифуркационного множества в этом случае не проходит (переход к обратным зависимостям в аналитическом виде не представляется возможным), но может быть скорректирована – необходимо выбрать так число членов разложения в ряд представленных зависимостей Y_i , чтобы в дальнейшем не исказить характер бифуркационного множества. Действительно, имея зависимость обратную «магической», можно получить искомое бифуркационное множество в параметрической форме; в нашем случае определяющая функция $G(Y) = \delta_2 - \delta_1$ будет представлена лишь конечным числом членов разложения в ряд [16]. Реализация этого подхода (учитывались члены разложения до пятнадцатого порядка малости) для «тестового» набора параметров (зависимость $Y_1(\delta_1)$ монотонно возрастающая, зависимость $Y_2(\delta_2)$ имеет ниспадающий участок) дает диаграмму устойчивости, характерную для модели автопоезда с монотонной зависимостью сил бокового увода от угла увода [17-19]. Усложнение бифуркационного множества связано с появлением дополнительных точек перегиба «неподвижной» кривой $G(Y) = \delta_2 - \delta_1$.

На рисунке 3а представлено бифуркационное множество, полученное на основе при-

ближенного аналитического подхода, на рисунке 3б - бифуркационное множество, полученное численно-аналитическим методом продолжения по двум параметрам (абсолютная погрешность колеблется в пределах $10^{-6} - 10^{-7}$, определялась как невязка при подстановке критических значений в якобиан системы (1)). Упрощенный аналитический подход не искажает качественной картины бифуркационного множества в окрестности прямолинейного режима и может быть использован как предварительный «экспресс-метод» ($\theta_0 = 0,049$ рад; $v^+ = 14,55740046$ м/с – критические значения параметров управления, при которых теряет устойчивость прямолинейный режим движения).

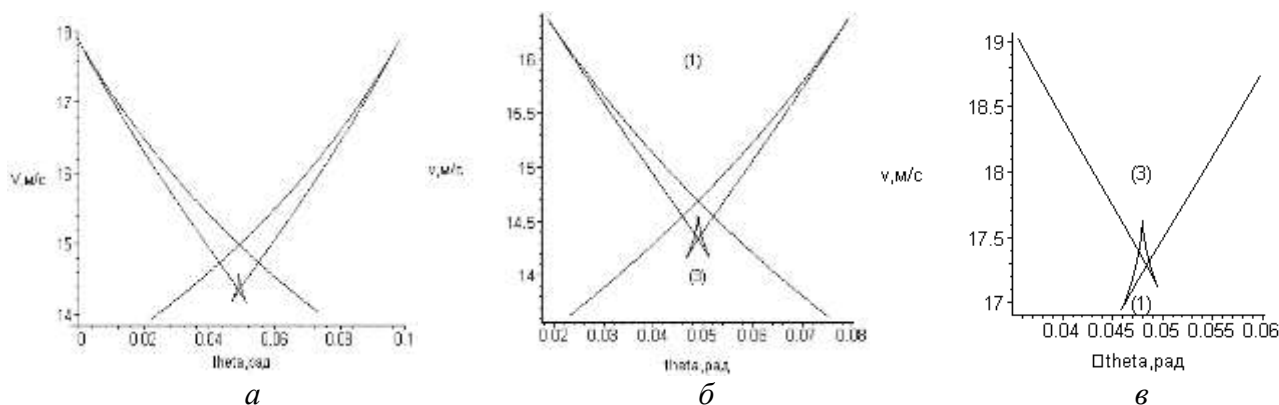


Рисунок 3 - Бифуркационное множество модели автомобиля, полученное на основе: а - приближенного аналитического подхода, б - численно-аналитическим методом продолжения по двум параметрам и в - численно-аналитическим методом с учетом пяточного момента

Результаты и обсуждение

Задача реализации численно-аналитического метода продолжения по двум параметрам (необходимо учитывать лавинообразное увеличение объема вычислений при росте числа степеней свободы или числа вводимых управляемых параметров) имеет самостоятельный интерес – этот метод не имеет альтернативы при более подробном описании модели автомобиля, в частности, уже при учете пяточных моментов (соответствующее бифуркационное множество представлено на рисунке 3в ($\theta_0 = 0,04798198775$ рад; $v^+ = 17,62513495$ м/с); бифуркационное множество теряет внутреннюю симметрию, а в области (“1”) имеется единственный устойчивый стационарный режим движения, т.е. пяточные моменты имеют стабилизирующий эффект во всей области управляемых параметров) [20].

Выводы

В заключении отметим следующее. Реализация численно – аналитического метода продолжения по двум параметрам дает возможность оценить устойчивость k-параметрических семейств стационарных состояний системы при более подробном описании модели, например, введении дополнительной степени свободы по крену; системы автономной регулировки углами развала-схождения или внутренним давлением колес; получаемая в этом случае бифуркационная диаграмма дает представление о «глобальной» управляемости системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волохов А.С. Анализ конструкционных и эксплуатационных дефектов шин // Транспорт: наука, образование, производство: труды Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения. - 2022. – С. 41-45.
2. Volokhov A.S., Fisenko K.S. Experimental research of the directional stability characteristics of a passenger car when moving around // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – Sevastopol. - 2020. – P. 052074. – DOI 10.1088/1757-899X/971/5/052074.
3. Волохов А.С., Фисенко К.С. Влияние неоднородной жесткости шины на курсовую устойчивость транспортного средства при прямолинейном движении // Транспорт: наука, образование, производство: Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. - Том 3. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения. - 2020. – С. 298-301.
4. Волохов А.С. Боковой увод пневматических шин // Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта, промышленности и экономики России (ТрансПромЭк-2019): труды Международной научно-практической конференции, 90 - летию Ростовского государственного университета путей сообщения посвящается. - Том 1. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения. - 2019. – С. 255-259.

5. Fahrsicherheits systeme. - Bosch. 2. Aufl.-Braunschweig; Wiesbaden: Vieweg, 1998. –250 s.
6. Pacejka H.B., Bakker T. The magic formula tyre model // Prog. 1stCollog. Modells for Vehickle Dynamics Analysis. – Amsterdam: Swits and Zeitlinger. - 1993. - P. 1-18.
7. Рыжиков В.А., Батыщев Д.Ю., Горин С.Л., Асцатуров Ю.Г. Колебательные процессы в трансмиссии автомобиля // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2015. – №1(57). – С. 25-29.
8. Volokhov A.S., Fisenko K.S. Experimental research of the directional stability characteristics of a passenger car when moving around // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – Sevastopol. - 2020. – P. 052074. – DOI 10.1088/1757-899X/971/5/052074.
9. Gorin S., Vyalov S., Kharlamov P. et al. Increase in energy efficiency of a system a car wheel-a paving // E3S Web of Conferences. – Rostov-on-Don: EDP Sciences, 2019. – P. 01004. – DOI 10.1051/e3sconf/201910401004.
10. Шаповалов В.В., Рябыш Д.А., Алаторцев В.В. и др. Синергетические методы оптимизации фрикционных систем // Транспорт и логистика: пространственно-технологическая синергия развития: Сборник научных трудов IV международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения. - 2020. – С. 356-359.
11. Балакина Е.В., Москвичева В.В. Анализ воздействия искусственной дорожной неровности на колесо транспортного средства // Journal of Advanced Research in Technical Science. – 2021. – №27. – С. 88-91. – DOI 10.26160/2474-5901-2021-27-88-91.
12. Шаповалов В.В., Рябыш Д.А., Арешян Г.А. Технология контроля текущих состояний механических систем // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2021. – №2(82). – С. 67-74. – DOI 10.46973/0201-727X_2021_2_67.
13. Кристальный С.Р., Балакина Е.В., Попов Н.В. Трение в контакте ошипованного колеса с твердой обледенелой опорной поверхностью // Трение и износ. – 2022. – Т. 43. – №1. – С. 92-104. – DOI 10.32864/0202-4977-2022-43-1-92-104.
14. Рябчинский А.И., Кисуленко Б.В., Морозова Т.Э. Регламентация активной и пассивной безопасности автотранспортных средств. - М.: Издательский центр «Академия», 2006. - 432 с.
15. Verbitskii V.G., Makarov V.A., Sakhno V.P. Influence of the asymmetry of cornering forces on the static stability of two-axle vehicle // International Applied Mechanics. - 2004. - №11. - P. 1304-1309.
16. Fiala E. Seitenkrafte am rollenden Luftreifen. VDI – Zeitschrift 96, 973, 1954.
17. Горин С.Л., Мелешко О.И. Исследование зависимости масс корректирующих грузов от угла поворота шины относительно диска колеса с низкопрофильной шиной при динамической балансировке // Транспорт: наука, образование, производство: Сборник научных трудов. - Том 2. - Ростов н/Д: Рост. гос. ун-т путей сообщения. - 2018. - С. 63-66.
18. Волохов А.С. Экспериментальное исследование влияния вертикальной нагрузки на курсовую устойчивость движения легкового автомобиля // Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта, промышленности и экономики России: Сборник научных трудов. - Том 1. Технические науки. - Ростов н/Д: Рост. гос. ун-т путей сообщения. - 2018. - С. 100-104.
19. Кочетов М.С., Балакина Е.В., Коньшин А.А. Экспериментальные исследования жесткостей эластичного колеса при наклоне плоскости вращения // XXXIV Международная инновационная конференция молодых ученых и студентов по современным проблемам машиноведения: Сборник трудов конференции. – Москва: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук. - 2022. – С. 193-196.
20. Balakina E.V., Kochetov M.S., Sarbaev D.S. Assessment of the Influence of Inclined Wheel Installation on the Vehicle Lateral Stability // Lecture Notes in Mechanical Engineering. – 2022. – Vol. I. – P. 100-108. – DOI 10.1007/978-3-030-85233-7_12.

Волохов Александр Сергеевич

Ростовский государственный университет путей сообщения

Адрес: 344038, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения

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

E-mail: vas_erm@rgups.ru

A.S. VOLOKHOV

THE INFLUENCE OF THE «GEOMETRY» OF THE DEPENDENCIES OF THE LATERAL WITHDRAWAL FORCES ON THE NATURE OF THE LOSS OF STABILITY OF THE RECTILINEAR MOVEMENT OF THE CAR

Abstract. The article considers the issue of determining the parameters of a wheeled carriage in the vicinity of rectilinear motion for loss of stability. The key point is to determine the impact of the heterogeneous stiffness of tires, constructive and acquired during operation, on the safety indicators of the vehicle.

Keywords: car, stability, wheel, surface, trajectory, model, angular effect, turning radius

BIBLIOGRAPHY

1. Volokhov A.S. Analiz konstruksionnykh i ekspluatatsionnykh defektov shin // Transport: nauka, obrazovanie, proizvodstvo: trudy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Rostov-na-Donu: Rostovskiy

gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya. - 2022. - S. 41-45.

2. Volokhov A.S., Fisenko K.S. Experimental research of the directional stability characteristics of a passenger car when moving around // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - Sevastopol. - 2020. - P. 052074. - DOI 10.1088/1757-899X/971/5/052074.

3. Volokhov A.S., Fisenko K.S. Vliyaniye neodnorodnoy zhestkosti shiny na kursovuyu ustoychivost' transportnogo sredstva pri pryamolineynom dvizhenii // Transport: nauka, obrazovanie, proizvodstvo: Sbornik nauchnykh trudov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Tom 3. - Rostov-na-Donu: Rostovskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya. - 2020. - S. 298-301.

4. Volokhov A.S. Bokovoy uvod pnevmaticheskikh shin // Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya transporta, promyshlennosti i ekonomiki Rossii (TransPromEk-2019): trudy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, 90-letiyu Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya posvyashchaetsya. - Tom 1. - Rostov-na-Donu: Rostovskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya. - 2019. - S. 255-259.

5. Fahrsicherheitsysteme. - Bosch. 2. Aufl.-Braunschweig; Wiesbaden: Vieweg, 1998. -250 s.

6. Pacejka H.B., Bakker T. The magic formula tyre model // Prog. IstCollog. Modells for Vehiclle Dynamics Analysis. - Amsterdam: Swits and Zeitlinger. - 1993. - P. 1-18.

7. Ryzhikov V.A., Batyshchev D.Yu., Gorin S.L., Astsaturov Yu.G. Kolebatel'nye protsessy v transmissii avtomobilya // Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya. - 2015. - №1(57). - S. 25-29.

8. Volokhov A.S., Fisenko K.S. Experimental research of the directional stability characteristics of a passenger car when moving around // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - Sevastopol. - 2020. - P. 052074. - DOI 10.1088/1757-899X/971/5/052074.

9. Gorin S., Vyalov S., Kharlamov P. et al. Increase in energy efficiency of a system a car wheels paving // E3S Web of Conferences. - Rostov-on-Don: EDP Sciences, 2019. - P. 01004. - DOI 10.1051/e3sconf/201910401004.

10. Shapovalov V.V., Ryabysh D.A., Alatorsev V.V. i dr. Sinergeticheskie metody optimizatsii friktsii-onnykh sistem // Transport i logistika: prostranstvenno-tekhnologicheskaya sinergiya razvitiya: Sbornik nauchnykh trudov IV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Rostov-na-Donu: Rostovskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya. - 2020. - S. 356-359.

11. Balakina E.V., Moskvicheva V.V. Analiz vozdeystviya iskusstvennoy dorozhnoy nerovnosti na koleso transportnogo sredstva // Journal of Advanced Research in Technical Science. - 2021. - №27. - S. 88-91. - DOI 10.26160/2474-5901-2021-27-88-91.

12. Shapovalov V.V., Ryabysh D.A., Areshyan G.A. Tekhnologiya kontrolya tekushchikh sostoyaniy mekhanicheskikh sistem // Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya. - 2021. - №2(82). - S. 67-74. - DOI 10.46973/0201-727X_2021_2_67.

13. Kristal'nyy S.R., Balakina E.V., Popov N.V. Trenie v kontakte oshipovannogo kolesa s tverдой obledeneloy opornoй poverkhnost'yu // Trenie i iznos. - 2022. - T. 43. - №1. - S. 92-104. - DOI 10.32864/0202-4977-2022-43-1-92-104.

14. Ryabchinskiy A.I., Kisulenko B.V., Morozova T.E. Reglamentatsiya aktivnoy i passivnoy bezopasnosti avtotransportnykh sredstv. - M.: Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2006. - 432 s.

15. Verbitskiy V.G., Makarov V.A., Sakhno V.P. Influence of the asymmetry of cornering forces on the static stability of two-axle vehicle // International Applied Mechanics. - 2004. - №11. - P. 1304-1309.

16. Fiala E. Seitenkrafte am rollenden Luftreifen. VDI - Zeitschrift 96, 973, 1954.

17. Gorin S.L., Meleshko O.I. Issledovanie zavisimosti mass korrektruyushchikh gruzov ot ugla povorota shiny otnositel'no diska kolesa s niskoprofil'noy shinoy pri dinamicheskoy balansirovke // Transport: nauka, obrazovanie, proizvodstvo: Sbornik nauchnykh trudov. - Tom 2. - Rostov n/D: Rost. gos. un-t putey soobshcheniya. - 2018. - S. 63-66.

18. Volokhov A.S. Eksperimental'noe issledovanie vliyaniya vertikal'noy nagruzki na kursovuyu ustoychivost' dvizheniya legkovogo avtomobilya // Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya transporta, promyshlennosti i ekonomiki Rossii: Sbornik nauchnykh trudov. - Tom 1. Tekhnicheskie nauki. - Rostov n/D: Rost. gos. un-t putey soobshcheniya. - 2018. - S. 100-104.

19. Kochetov M.S., Balakina E.V., Kon'shin A.A. Eksperimental'nye issledovaniya zhestkostey elastichnogo kolesa pri naklone ploskosti vrashcheniya // XXXIV Mezhdunarodnaya innovatsionnaya konferentsiya molodykh uchenykh i studentov po sovremennym problemam mashinovedeniya: Sbornik trudov konferentsii. - Moskva: Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe uchrezhdenie nauki Institut mashinovedeniya im. A.A. Bla-gonravova Rossiyskoy akademii nauk. - 2022. - S. 193-196.

20. Balakina E.V., Kochetov M.S., Sarbaev D.S. Assessment of the Influence of Inclined Wheel Installation on the Vehicle Lateral Stability // Lecture Notes in Mechanical Engineering. - 2022. - Vol. I. - P. 100-108. - DOI 10.1007/978-3-030-85233-7_12.

Volokhov Alexandr Sergeevich

Rostov State Transport University (RSTU)

Adress: 344038, Russia, Rostov-on-Don, sq. Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya

Candidate of technical sciences

E-mail: vas_erm@rgups.ru

ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЕ ЖЕСТКОСТИ КУЗОВА АВТОМОБИЛЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ РАСЧЕТОВ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ В ДОРОЖНО- ТРАНСПОРТНЫХ ЭКСПЕРТИЗАХ

Аннотация. Методика проведения дорожно-транспортной экспертизы включает в себя метод определения скорости столкновения транспортных средств исходя из полученных автомобилем деформаций. Необходимые для таких расчетов коэффициенты в справочной литературе имеют усредненные значения, но фактически в различных сечениях жесткость кузова автомобиля значительно отличается. В статье представлена методика, основанная на дифференцировании жесткости, которая позволяет повысить точность расчетов при определении скорости движения автомобиля до ДТП, в случаях локализации удара в боковую часть кузова на площади контактной зоны, меньшей площади по тесту.

Ключевые слова: дорожно-транспортное происшествие, реконструкция ДТП, экспертиза ДТП, жесткость автомобиля, безопасность дорожного движения, столкновение транспортных средств

Введение

Обеспечение безопасности дорожного движения, как общенациональная задача, в последние годы решается достаточно успешно, о чем свидетельствует статистика аварийности. Вместе с тем, для обеспечения максимально безопасного движения на автомобильных дорогах общего пользования и достижения установленных показателей, в том числе «нулевой смертности», существует потенциал. Почти в 90 % дорожно-транспортных происшествий (ДТП) [1, 5, 11, 13, 14, 18] базовой причиной являлось несоблюдение водителями требований правил дорожного движения, и наиболее часто зафиксированным является нарушение скоростного режима. Трагичность таких ДТП максимальная – высокая скорость не только увеличивает риск возникновения аварийно-опасной ситуации, но и отягчает тяжесть её последствий. С целью снижения влияния такого трудноконтролируемого фактора успешно применяют различные инструменты – камеры фотовидеофиксаций нарушения ПДД, устройство искусственных дорожных неровностей и т.д. Также одним из эффективных «механизмов» по управлению скоростью и безопасностью дорожного движения [19, 21, 22, 27] является повышение точности методического аппарата реконструкции аварийно-опасных ситуаций, предшествующих ДТП. Установление причинно-следственной связи между фактом нарушения ПДД и дорожно-транспортным происшествием и последующая неотвратимость наказания, является существенным фактором сдерживания водителей от таких нарушений. В связи с чем, дорожно-транспортной экспертизе и точности результатов расчетов, выполняемых в рамках ее выполнения, отводится особое место в сфере обеспечения безопасности дорожного движения.

С каждым годом сфера экспертизы становится всё более совершенной: для определения скоростей автомобилей, попавших в ДТП, разрабатываются и совершенствуются наукоемкие методики и методы её проведения. Одним из таких методов является дифференцирование жесткости кузова автомобиля для определения уникальных значений показателей сопротивления деформации в локальных зонах транспортного средства. В своей основе методика предполагает зонирование кузова автомобиля и последующее определение значений коэффициента Гука и модуля упругости I рода для каждой из зон.

Материал и методы

В классическом алгоритме установления скорости движения в момент столкновения [2-4, 6-8, 15-17] коэффициенты жесткости устанавливаются на всю часть кузова автомобиля, учувствовавшего в инсценированном ДТП (краш-тесте), и используются в рамках проведе-

ния экспертиз по делам о реальных ДТП с участием транспортного средства данной модели. Последовательность расчетов при таком виде экспертиз исследована на примере дорожно-транспортной ситуации, представленной на рисунках 1 и 2.



Рисунок 1 – Dodge Charger до столкновения



Рисунок 2 – Dodge Charger в результате столкновения с деформирующей силой, распределенной по всей площади боковой части кузова

При классическом алгоритме скорость автомобиля рассчитывается по формуле:

$$v_a = 3,6 * \sqrt{\frac{2 * E_D}{m}},$$

где v_a – скорость автомобиля, м/с;

E_D – кинетическая энергия, затраченная на развитие деформаций, Дж;

m – масса автомобиля, кг.

Кинетическая энергия E_D находится по следующей формуле:

$$E_D = \sum_{i=1}^{n-1} w_i * \left(\frac{B}{6} * (C_i^2 + C_i * C_{i+1} + C_{i+1}^2) + \frac{A}{2} * (C_{i+1} + C_i) + G \right) * (1 + \tan^2 \theta),$$

где E_D – кинетическая энергия, затраченная на развитие деформаций, Дж;

w_i – участок деформации, м;

C_i – глубина зоны объемной деформации в i -ой точке (из $n = 6$), согласно результатам измерения профиля деформации тестового а/м, м;

A – коэффициент Гука, Н/м;

B – модуль упругости I рода (Юнга), Н/м²;

G – аргумент поглощения;

θ – угол направления приложения приведенной деформирующей силы (по направлению вектора импульса сил), с учетом результатов проведенного осмотра а/м, участвовавшего в исследуемом ДТП, град.

$$A = \frac{m * b_0 * b_1}{3,6^2 * w},$$

где b_0 – максимальная пороговая скорость, до величины которой объемная деформация не наступает, км/ч;

b_1 – коэффициент рассеивания деформации.

$$b_1 = \frac{v_{\phi} * b_0}{C_{AVERT}},$$

где v_{ϕ} – фактическая скорость автомобиля, км/ч;

C_{AVERT} – среднестатистическое значение измерений глубины деформирования C_i в системе 6-ти точек измерения ($n=6$) для тестового а/м;

$$C_{AVERT} = \frac{\frac{C_1 + \sum_{i=2}^{n-1} C_i + C_n}{2}}{n-1},$$

где C_i – глубина зоны объемной деформации в i -ой точке (из $n = 6$), согласно результатам измерения профиля деформации тестового а/м, м.

$$B = \frac{m * b_1^2}{3,6^2 * w}.$$

По результатам проведенных расчётов были получены следующие значения: $A = 127\,664,39$ Н/м и $B = 5\,476\,870,2$ Н/м², а скорость движения в момент столкновения с использованием полученных значений коэффициентов A и B по результатам расчета составила $v = 61,84$ м/с. Данное значение показывает высокую сходимость с истинным значением скорости столкновения (61,27 км/ч), что подтверждает высокую точность используемого методического аппарата.

Однако, у применяемой методики есть существенный недостаток: высокая точность результатов достигается в условиях столкновения с полным перекрытием (т.е. на всю часть кузова автомобиля, когда площадь контактной зоны соответствует площади ударной тележки), когда деформирующие силы рассредоточены по всей ширине. В условиях концентрированного удара, на малой площади, например, при боковом наезде на столб или дерево, в результате потери устойчивости (заноса) ТС, результат расчета будет иметь существенные погрешности. Данный факт может быть проиллюстрирован на примере столкновения, представленного на рисунках 3-5.



Рисунок 3 – Dodge Charger до столкновения



Рисунок 4 – Dodge Charger в момент столкновения со столбом



Рисунок 5 – Dodge Charger в результате столкновения с сконцентрированной деформирующей силой

При расчёте значения скорости автомобиля с использованием установленных коэффициентов боковой части кузова ($A = 127\,664,3903$ Н/м и $B = 5\,476\,870,2$ Н/м²) при его столкновении со столбом, значение расчётной скорости составит $v = 38,51$ км/ч, что на 17 % больше фактического значения скорости автомобиля ($v_a = 32$ км/ч), такая величина погрешности недопустима при выполнении автотехнических экспертиз.

Расчет

Таким образом, решение выявленной проблемы невозможно без применения научного подхода к дифференцированию жесткости кузова автомобиля. Соответственно, предлагается для решения поставленной научной задачи использовать следующий физико-математический аппарат дифференцирования коэффициента Гука и модуля упругости I рода [9-10, 20] по зоне локализации жесткости кузова автомобиля:

$$A_{vi} = \frac{m_v \times b_{0vi} \times b_{1vi}}{3.6^2 \times L}, \quad B_{vi} = \frac{m_v \times b_{1vi}^2}{3.6^2 \times L},$$

где m_v – масса тестового автомобиля, кг;

b_{0vi} – максимальная пороговая скорость, до величины которой объемная деформация на i -ом участке автомобиля не наступает;

b_{1vi} – коэффициент рассеивания деформации для каждого i -го участка автомобиля;

L – ширина зоны непосредственного контакта, м.

Результаты расчётов локальной жесткости боковой части кузова автомобиля Dodge Charger, выраженной в отличающихся значениях коэффициента Гука и модуля упругости I рода, представлены в таблице 1 по разным уровням по высоте от опорной поверхности (ОП) и ширине. Визуализация зонирования боковой части кузова исследуемого автомобиля, согласно таблице 1, представлена на рисунке 6.

Для визуального восприятия разности значений коэффициента Гука и модуля упругости I рода разработана «тепловая» карта жесткости боковой части кузова исследуемого автомобиля (рис. 7 и 8).

Таблица 1 – Дифференцирование жесткости боковой части кузова автомобиля

Коэффициент жесткости	Уровень	1 (передняя стойка)	2 (водительская дверь)	3 (центральная стока)	4 (пассажирская дверь)	5 (задняя стойка)
Коэффициент Гука, Н/м	4 (подоконная часть автомобиля) 985 мм от ОП	30 168,79	29 488,97	29 096,15	29 320,44	32 183,6
	3 (нижняя часть окна по вертикали) 639 мм от ОП	24 236,14	22 161,27	23 214,32	24 743,06	25 519,29
	2 (место расположения сиденья водителя или пассажира) 534 мм от ОП	23 064,04	21 447,2	18 469,12	18 664,53	23 890
	1 (порог транспортного средства) 293 мм от ОП	26 904,36	27 628,17	26 947,15	27 372,67	30 729,91
Модуль упругости I рода, Н/м ²	4 (подоконная часть автомобиля) 985 мм от ОП	305 850,2	292 221,4	284 488	288 891	348 066,4
	3 (нижняя часть окна по вертикали) 639 мм от ОП	197 387,5	165 037,4	181 094,3	205 731	218 841,7
	2 (место расположения сиденья водителя или пассажира) 534 мм от ОП	178 757,3	154 573,1	114 626,6	117 065	191 789,6
	1 (порог транспортного средства) 293 мм от ОП	243 241,9	256 505,7	244 016,2	251 783,4	317 333,3

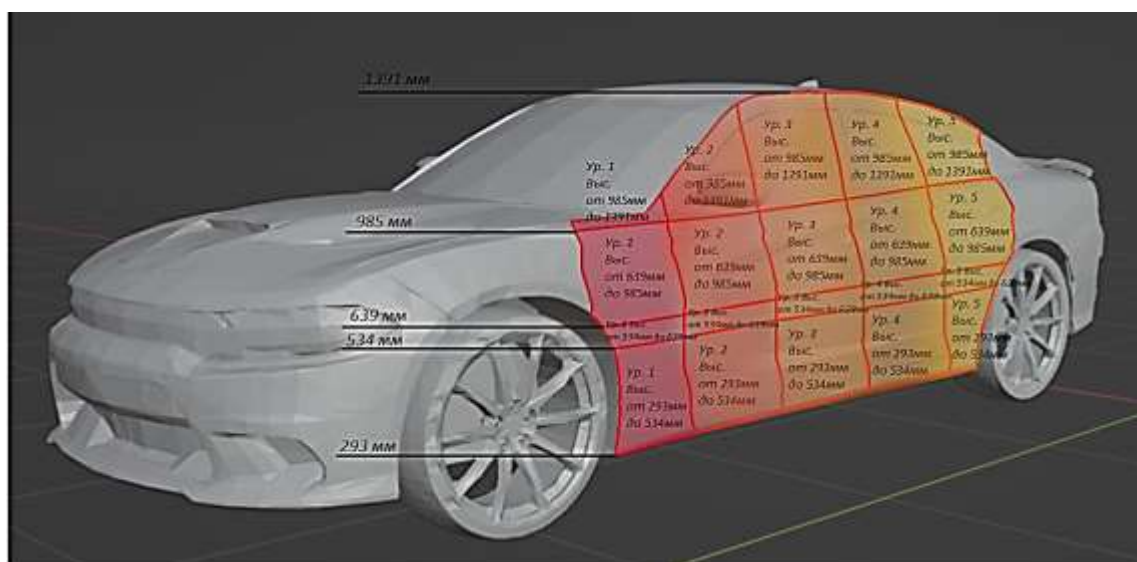


Рисунок 6 – Зонирование боковой части кузова автомобиля Dodge Charger

Для дальнейших расчётов боковая часть автомобиля была разделена на 3 диапазона в зависимости от зоны приложения деформирующей силы [12, 23-26] – площади перекрытия столкновения (рис. 9). Необходимо отметить, что цветовая гамма на рисунке 8 предназначена для обозначения границ используемых в расчете зон, и если и имеет отношение к столкновению, то только к месту непосредственного приложения деформирующих сил, но никак не характеризует жесткость кузова автомобиля.



Рисунок 7 – Тепловая карта распределения значений коэффициента Гука боковой части кузова Dodge Charger



Рисунок 8 – Тепловая карта распределения значений модуля упругости I рода Dodge Charger

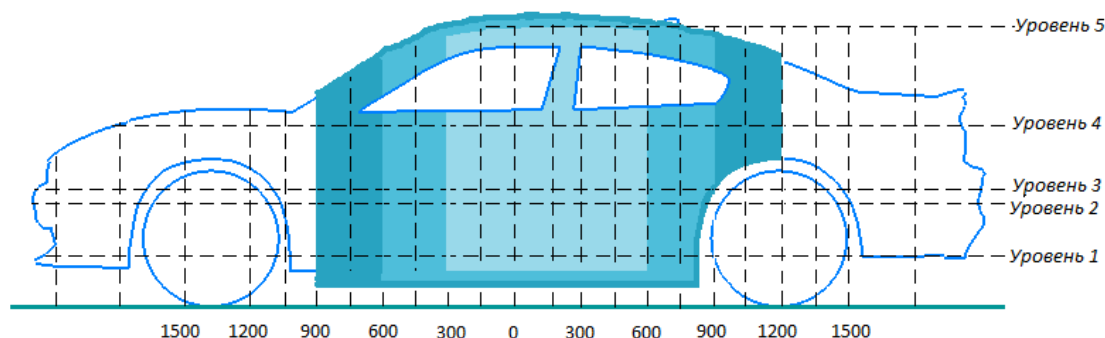


Рисунок 9 – Разделение боковой части кузова автомобиля на исследуемые диапазоны согласно площади приложения деформирующей силы

На рисунке 10 изображен график результатов замера распределения деформации (глубин внедрения) боковой части кузова автомобиля в результате концентрированного на малой площади столкновения/наезда, представленного на рисунках 3-5.



Рисунок 10 – График распределения деформации по боковой части автомобиля

Первым исследован диапазон от (-900) до 1200 мм: на основе данных таблицы 2, где представлены коэффициенты жесткости для каждого сектора боковой части автомобиля, можно сделать вывод, что в данный диапазон полностью входят 2-й, 3-й, 4-й и 5-й участки, а также 66,(6) % 1-го участка.

С целью визуализации на рисунках 11 и 12 (аналогично рисункам 7 и 8) представлены 3-D модели автомобиля с нанесенными на них цветовыми («тепловыми») картами распределения жесткости боковой части кузова автомобиля.



Рисунок 11 – Тепловая карта распределения значений коэффициента Гука боковой части кузова Dodge Charger



Рисунок 12 – Тепловая карта распределения значений модуля упругости I рода Dodge Charger

Для расчета кинетической энергии используются суммарные значения коэффициента Гука и модуля упругости I рода, входящих в исследуемый диапазон.

$$A_{((-900)-1200)} = \sum_{n=5} \sum_{i=4} A_{in} * x_n ,$$

где $A_{((-900)-1200)}$ - суммарное значение коэффициента Гука для боковой части автомобиля, входящей в исследуемый диапазон, Н/м;

n – число участков, на которые разбита боковая часть автомобиля;

i – число уровней по высоте, на которые разбит автомобиль;

A_{in} – значение коэффициента Гука в конкретном секторе автомобиля, Н/м;

x_n – часть участка, входящая в исследуемый диапазон.

$$A_{((-900)-1200)} = (30\,168,79 + 24\,236,14 + 23\,064,04 + 26\,904,36) * 0, (6) + (29\,488,97 + 22\,161,27 + 21\,447,2 + 27\,628,17) * 1 + (29\,096,15 + 23\,214,32 + 18\,469,12 + 26\,947,15) * 1 + (29\,320,44 + 24\,743,06 + 18\,664,53 + 27\,312,67) * 1 + (32\,183,6 + 25\,519,29 + 23\,890 + 30\,729,91) * 1 = 479\,762,3 \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

Аналогично было установлено суммарное значение модуля упругости I рода:

$$B_{((-900)-1200)} = \sum_{n=5} \sum_{i=4} B_{in} * x_n ,$$

где $B_{((-900)-1200)}$ - суммарное значение модуля упругости I рода для боковой части автомобиля, входящей в исследуемый диапазон, Н/м²;

n – число участков, на которые разбита боковая часть автомобиля;

i – число уровней по высоте, на которые разбит автомобиль;

B_{in} – значение модуля упругости I рода в конкретном секторе автомобиля, Н/м²;

x_n – часть участка, входящая в исследуемый диапазон.

$$B_{((-900)-1200)} = (305\,850,2 + 197\,387,5 + 178\,757,3 + 243\,241,9) * 0, (6) + (292\,221,4 + 165\,037,4 + 154\,573,1 + 256\,505,7) * 1 + (284\,488 + 181\,094,3 + 114\,626,6 + 244\,016,2) * 1 + (288\,891 + 205\,731 + 117\,065 + 251\,783,4) * 1 + (348\,066,4 + 218\,841,7 + 191\,789,6 + 317\,333,3) * 1 = 3\,007\,819 \text{ Н/м}^2.$$

Результаты и обсуждение

Соответственно, результаты расчетов для двух оставшихся диапазонов, аналогичные представленным выше, помещены в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты расчётов согласно зонированию боковой части кузова автомобиля

Диапазон	Коэффициент Гука, Н/м	Модуль упругости I рода, Н/м ²	Расчётная скорость столкновения, км/ч	Погрешность установленной скорости от истинного значения, %
(-900)–1200	479762,3	3007819	44,76	39,9
(-600)–900	332249,9	2878842,35	43,42	35,7
(-300)–600	188004,8	1602808,6	31,6	1,3

Выводы

Анализируя представленные в таблице 2 результаты расчетов, следует сделать следующие выводы.

1. Использование стандартных и общепринятых методических решений, а также расчетных значений жесткости без дифференциации при расчете затрат энергии на деформации в задачах производства дорожно-транспортных экспертиз для случаев локализации объемного внедрения на малых площадях недопустимо, так как это ведет к увеличению погрешности расчета искомой скорости ТС до ДТП на значения более $\pm 30\%$.

2. В задачах дорожно-транспортных экспертиз, связанных с нахождением фактической скорости движения автомобиля до ДТП, в случае бокового столкновения/наезда, когда пятно контакта составляет не всю площадь боковой части автомобиля, при выполнении расчетов затрат энергии на объемные деформации для повышения достоверности расчетных величин требуется применять дифференцирование жесткости с зонированием контактной зоны.

3. Для расчетных задач данного типа, экспертам рекомендуется определять кинетическую энергию, затраченную на развитие деформации, по изложенной в статье методике, с выбором за расчетный очаг – участка контактной зоны с минимальным диапазоном ширины локализации по боковой части автомобиля, включающим максимальные численные значения глубины деформации и ограниченным зоной непосредственного контакта

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Petrov A.I., Kolesov V.I., Evtyukov S.A., Petrova D.A. Comparative research of orderliness dynamics of road safety systems in the volga federal district and the Russian Federation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Scientific Conference Interstroyemh. - Vol. 786. - Kazan: Institute of Physics Publishing. - 2020. - P. 012084. - DOI 10.1088/1757-899X/786/1/012084.
2. Evtukov S., Golov E., Sazonova T. Prospects of scientific research in the field of active and passive safety of vehicles // MATEC Web of Conferences, Novosibirsk. - Vol. 239. - Novosibirsk: EDP Sciences. - 2018. - P. 04018. - DOI 10.1051/mateconf/201823904018.
3. Evtukov S.S., Golov E.V., Ivanov N.A. Innovative safety systems for modern vehicles // T-Comm. - 2019. - Vol. 13. - №6. - P. 71-76. - DOI 10.24411/2072-8735-2018-10283.
4. Evtyukov S., Golov E., Rajczyk Ja. Improving the accuracy of stiffness coefficient calculation when estimating the kinetic energy spent on vehicle deformation // Architecture and Engineering. - 2020. - Vol. 5. - №1. - P. 45-50. - DOI 10.23968/2500-0055-2020-5-1-45-50.
5. Kvitchuk A., Kvitchuk M., Evtyukov S., Golov E. Indicators of road safety as a phenomenon of national security of the state // INTERAGROMASH 2021. Precision Agriculture and Agricultural Machinery Industry. - Vol. 2. - Ростов-на-Дону: Springer. - 2022. - P. 159-168. - DOI 10.1007/978-3-030-80946-1_16.
6. Автотехнические судебные экспертизы [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://pravorub.ru/articles/yekspertnaj_dejtelnost/avtotehnicheskie_sudebnye_ykspertizy/
7. Белехов А.А., Капенкова А.И., Евтюков С.С. Оценка возможности установки систем сбора и накопления энергии на транспортные средства, находящиеся в эксплуатации // Вестник гражданских инженеров. - 2022. - №6(95). - С. 134-140. - DOI 10.23968/1999-5571-2022-19-6-134-140.
8. Васильев Я.В., Воронин В.В. Применение коэволюционных генетических алгоритмов в задачах установления места контакта объектов исследования в эксплоатации ДТП // Вестник гражданских инженеров. - 2021. - №4(87). - С. 113-121. - DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-4-113-121.
9. Голов Е.В., Евтюков С.С. Исследование закономерностей изменения коэффициентов жесткости автомобилей категории m1 в зависимости от года выпуска и в соответствии с классификацией Euro NCAP // Мир транспорта и технологических машин. - 2022. - №3-3(78). - С. 10-20. - DOI 10.33979/2073-7432-2022-3(78)-3-10-20.
10. Голов Е.В. Повышение точности расчета скорости движения в момент ДТП при столкновениях с неполным перекрытием части кузова автомобиля // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. - 2021. - Т. 18. - №3(79). - С. 306-316. - DOI 10.26518/2071-7296-2021-18-3-306-316.
11. Голов Е.В. Фактор скорости в системе безопасности дорожного движения // Вестник гражданских инженеров. - 2021. - №3(86). - С. 139-148. - DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-3-139-148.
12. Добромиров В.Н., Евтюков С.С., Голов Е.В. Современные технологии первичного осмотра места дорожно-транспортного происшествия // Вестник гражданских инженеров. - 2017. - №2(61). - С. 232-239. - DOI 10.23968/1999-5571-2017-14-2-232-239.
13. Евтюков С.А., Лукашов Б.В. Исследование подсистемы выявления инцидентов интеллектуальной транспортной системы // Вестник гражданских инженеров. - 2022. - №1(90). - С. 136-142. - DOI 10.23968/1999-5571-2022-19-1-136-142.

14. Евтюков С.С., Голов Е.В. Аудит безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах регионального значения в Ленинградской области // Транспорт Урала. – 2017. – №2(53). – С. 85-89. – DOI 10.20291/1815-9400-2017-2-85-89.
15. Евтюков С.С., Голов Е.В. Выбор коэффициентов при определении затрат кинетической энергии на деформацию автомобиля // Вестник гражданских инженеров. – 2019. – №1(72). – С. 152-157. – DOI 10.23968/1999-5571-2019-16-1-152-157.
16. Новиков А.Н., Новиков И.А., Лазарев Д.А., Махонин В.Л. Исследование сложного перемещения транспортного средства при проведении дорожно-транспортной экспертизы // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – №3-3(78). – С. 53-59. – DOI 10.33979/2073-7432-2022-3(78)-3-53-59.
17. Коломеец А.А., Куракина Е.В. Возможности совершенствования обеспечения автоматизированного управления при подготовке водителей транспортных средств // Вестник гражданских инженеров. – 2021. – №2(85). – С. 215-221. – DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-2-215-221.
18. Куракина Е.В., Склярова А.А. Повышение уровня безопасности дорожного движения в системе «Участник дорожного движения - Транспортное средство - Дорога - Внешняя среда» // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2020. – Т. 17. – №4(74). – С. 488-499. – DOI 10.26518/2071-7296-2020-17-4-488-499.
19. Сорокина Е.В., Шпет В.В., Гончарова Я.Д., Голов Е.В. Многомерный анализ распределения дорожно-транспортных происшествий на дорожной сети Ленинградской области // Транспортное дело России. – 2023. – №1. – С. 294-297. – DOI 10.52375/20728689_2023_1_297.
20. Никонов В.Н. Реконструкция обстоятельств ДТП: Введение в современные методы экспертных исследований. Использование краш-тестов // Издательские решения. – 2016. – 126 с.
21. Петров А.И., Евтюков С.А. Сравнительная энтропийная оценка состояния дорожно-транспортной аварийности в крупных городах России // Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы Международной научно-технической конференции. – В 2 т. – Т II. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет. – 2022. – С. 118-121.
22. Ризаева Ю.Н., Клявин В.Э., Погодина Е.К. О скоростном режиме на дорогах России // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы VII Международной научно-практической конференции. – В 2-х т. – Том 1. – Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева. – 2021. – С. 372-381.
23. Св-во о государственной регистрации базы данных № 2021622677 Российская Федерация. База данных жесткостных характеристик автомобилей категории М1 для проведения дорожно-транспортных экспертиз.
24. Св-во о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021662158 Российская Федерация. Программа расчета скорости автомобиля-участника ДТП в момент столкновения с учётом полученных деформаций
25. Современные подходы в исследовании обстоятельств дорожно-транспортных происшествий / А.В. Сараев, Е.А. Новописный, И.А. Новиков, С.В. Дорохин. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2016. – 105 с.
26. Голов Е.В., Евтюков С.А., Андреев А.П., Сорокина Е.В. Формирование трехмерной пространственно-следовой базы исходных данных с использованием сканирующих беспилотных летательных аппаратов и ее интеграция в модельно-ориентированную реконструкцию дорожно-транспортных происшествий // Транспорт Урала. – 2022. – №1(72). – С. 74-79. – DOI 10.20291/1815-9400-2022-1-74-79.
27. Шевцова А.Г. Валидность закона Смида в условиях реализации программы Vision Zero // Мир транспорта и технологических машин. – 2021. – №4(75). – С. 49-57. – DOI 10.33979/2073-7432-2021-75-4-49-57.

Голов Егор Викторович

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес: 190005, Россия, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., 4
К.т.н., старший преподаватель кафедры транспортных систем СПбГАСУ
E-mail: egorgoloff@yandex.ru

Шпет Владимир Романович

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес: 190005, Россия, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., 4
Студент
E-mail: shpetvolodymyr@yandex.ru

Васильев Ярослав Владимирович

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес: 190005, Россия, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., 4
К.т.н., доцент кафедры наземных транспортно-технологических средств
E-mail: xen2k@rambler.ru

DIFFERENTIATION OF THE STIFFNESS OF THE CAR BODY TO IMPROVE THE ACCURACY OF CALCULATIONS OF THE SPEED OF MOVEMENT OF OBJECTS OF STUDY IN ROAD TRANSPORT REVIEW

Abstract. *The methodology of the road transport review includes a method for determining the collision rate of vehicles based on the deformations received by the car. The coefficients necessary for such calculations in the reference literature have averaged values, but in fact, the rigidity of the car body differs significantly in different sections. The article presents a technique based on the differentiation of stiffness, which allows to increase the accuracy of calculations when determining the speed of a car before an accident, in cases of localization of a blow to the side of the body on the area of the contact zone, a smaller area according to the test.*

Keywords: *traffic accident, accident reconstruction, accident review, vehicle rigidity, road safety, vehicle collision*

BIBLIOGRAPHY

1. Petrov A.I., Kolesov V.I., Evtyukov S.A., Petrova D.A. Comparative research of orderliness dynamics of road safety systems in the volga federal district and the Russian Federation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Scientific Conference Interstroyemeh. - Vol. 786. - Kazan: Institute of Physics Publishing. - 2020. - P. 012084. - DOI 10.1088/1757-899X/786/1/012084.
2. Evtukov S., Golov E., Sazonova T. Prospects of scientific research in the field of active and passive safety of vehicles // MATEC Web of Conferences, Novosibirsk. - Vol. 239. - Novosibirsk: EDP Sciences. - 2018. - P. 04018. - DOI 10.1051/mateconf/201823904018.
3. Evtukov S.S., Golov E.V., Ivanov N.A. Innovative safety systems for modern vehicles // T-Comm. - 2019. - Vol. 13. - №6. - P. 71-76. - DOI 10.24411/2072-8735-2018-10283.
4. Evtyukov S., Golov E., Rajczyk Ja. Improving the accuracy of stiffness coefficient calculation when estimating the kinetic energy spent on vehicle deformation // Architecture and Engineering. - 2020. - Vol. 5. - №1. - P. 45-50. - DOI 10.23968/2500-0055-2020-5-1-45-50.
5. Kvitchuk A., Kvitchuk M., Evtyukov S., Golov E. Indicators of road safety as a phenomenon of national security of the state // INTERAGROMASH 2021. Precision Agriculture and Agricultural Machinery Industry. - Vol. 2. - Rostov-na-Donu: Springer. - 2022. - P. 159-168. - DOI 10.1007/978-3-030-80946-1_16.
6. Avtotehnicheskie sudebnye ekspertizy [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: https://pravorub.ru/articles/yekspertnaja_dejtnost/avtotehnicheskie_sudebnye_yekspertizy/
7. Belekhov A.A., Kapenkova A.I., Evtyukov S.S. Otsenka vozmozhnosti ustanovki sistem sbora i nakopleniya energii na transportnye sredstva, nakhodyashchiesya v ekspluatatsii // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. - 2022. - №6(95). - S. 134-140. - DOI 10.23968/1999-5571-2022-19-6-134-140.
8. Vasil'ev Ya.V., Voronin V.V. Primenenie koevolyutsionnykh geneticheskikh algoritmov v zadachakh ustanovleniya mesta kontakta ob"ektov issledovaniya v ekspertize DTP // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. - 2021. - №4(87). - S. 113-121. - DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-4-113-121.
9. Golov E.V., Evtyukov S.S. Issledovanie zakonornostey izmeneniya koeffitsientov zhestkosti avtomobiley kategorii m1 v zavisimosti ot goda vypuska i v sootvetstvii s klassifikatsiey Euro NCAP // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2022. - №3-3(78). - S. 10-20. - DOI 10.33979/2073-7432-2022-3(78)-3-10-20.
10. Golov E.V. Povyshenie tochnosti rascheta skorosti dvizheniya v moment DTP pri stolknoveniyakh s nepolnym perekrytiem chasti kuzova avtomobilya // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta. - 2021. - T. 18. - №3(79). - S. 306-316. - DOI 10.26518/2071-7296-2021-18-3-306-316.
11. Golov E.V. Faktor skorosti v sisteme bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. - 2021. - №3(86). - S. 139-148. - DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-3-139-148.
12. Dobromirov V.N., Evtyukov S.S., Golov E.V. Sovremennye tekhnologii pervichnogo osmotra mesta dorozhno-transportnogo proisshestviya // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. - 2017. - №2(61). - S. 232-239. - DOI 10.23968/1999-5571-2017-14-2-232-239.
13. Evtyukov S.A., Lukashov B.V. Issledovanie podsistemy vyyavleniya intsidentov intellektual'noy transportnoy sistemy // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. - 2022. - №1(90). - S. 136-142. - DOI 10.23968/1999-5571-2022-19-1-136-142.
14. Evtyukov S.S., Golov E.V. Audit bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya na avtomobil'nykh dorogakh regional'nogo znacheniya v Leningradskoy oblasti // Transport Urala. - 2017. - №2(53). - S. 85-89. - DOI 10.20291/1815-9400-2017-2-85-89.
15. Evtyukov S.S., Golov E.V. Vybore koeffitsientov pri opredelenii zatrat kineticheskoy energii na deformatsiyu avtomobilya // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. - 2019. - №1(72). - S. 152-157. - DOI 10.23968/1999-5571-2019-

16-1-152-157.

16. Novikov A.N., Novikov I.A., Lazarev D.A., Makhonin V.L. Issledovanie slozhnogo peremeshcheniya transportnogo sredstva pri provedenii dorozhno-transportnoy ekspertizy // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin.* - 2022. - №3-3(78). - S. 53-59. - DOI 10.33979/2073-7432-2022-3(78)-3-53-59.

17. Kolomeets A.A., Kurakina E.V. Vozmozhnosti sovershenstvovaniya obespecheniya avtomatizirovannogo upravleniya pri podgotovke voditeley transportnykh sredstv // *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov.* - 2021. - №2(85). - S. 215-221. - DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-2-215-221.

18. Kurakina E.V., Sklyarova A.A. Povyshenie urovnya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v sisteme «Uchastnik dorozhnogo dvizheniya - Transportnoe sredstvo - Doroga - Vneshnyaya sreda» // *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta.* - 2020. - T. 17. - №4(74). - S. 488-499. - DOI 10.26518/2071-7296-2020-17-4-488-499.

19. Sorokina E.V., Shpet V.V., Goncharova Ya.D., Golov E.V. Mnogomernyy analiz raspredeleniya dorozhno-transportnykh proisshествiy na dorozhnoy seti Leningradskoy oblasti // *Transportnoe delo Rossii.* - 2023. - №1. - S. 294-297. - DOI 10.52375/20728689_2023_1_297.

20. Nikonov V.N. Rekonstruktsiya obstoystel'stv DTP: Vvedenie v sovremennyye metody ekspertnykh issledovaniy. Ispol'zovanie krashtestov // *Izdatel'skie resheniya.* - 2016. - 126 s.

21. Petrov A.I., Evtyukov S.A. Sravnitel'naya entropiynaya otsenka sostoyaniya dorozhno-transportnoy avariynosti v krupnykh gorodakh Rossii // *Transportnye i transportno-tekhnologicheskie sistemy: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii.* - V 2 t. - T II. - Tyumen': Tyumenskiy industrial'nyy universitet. - 2022. - S. 118-121.

22. Rizaeva Yu.N., Klyavin V.E., Pogodina E.K. O skorostnom rezhime na dorogakh Rossii // *Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: Materialy VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii.* - V 2-kh t. - Tom 1. - Orel: OGU im. I.S. Turgeneva. - 2021. - S. 372-381.

23. Sv-vo o gosudarstvennoy registratsii bazy dannykh № 2021622677 Rossiyskaya Federatsiya. Baza dannykh zhestkostnykh kharakteristik avtomobiley kategorii M1 dlya provedeniya dorozhno-transportnykh ekspertiz.

24. Sv-vo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2021662158 Rossiyskaya Federatsiya. Programma rascheta skorosti avtomobilya-uchastnika DTP v moment stolknoveniya s uchiotom poluchennykh deformatsiy

25. Sovremennyye podkhody v issledovanii obstoystel'stv dorozhno-transportnykh proisshествiy / A.V. Saraev, E.A. Novopisnyy, I.A. Novikov, S.V. Dorokhin. - Voronezh: Voronezhskiy gosudarstvennyy lesotekhnicheskii universitet im. G.F. Morozova, 2016. - 105 s.

26. Golov E.V., Evtyukov S.A., Andreev A.P., Sorokina E.V. Formirovanie trekhmernoy prostranstvenno-issledovoy bazy iskhodnykh dannykh s ispol'zovaniem skaniruyushchikh bespilotnykh letatel'nykh apparatov i ee integratsiya v model'no-orientirovannuyu rekonstruktsiyu dorozhno-transportnykh proisshествiy // *Transport Urala.* - 2022. - №1(72). - S. 74-79. - DOI 10.20291/1815-9400-2022-1-74-79.

27. Shevtsova A.G. Validnost' zakona Smida v usloviyakh realizatsii programmy Vision Zero // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin.* - 2021. - №4(75). - S. 49-57. - DOI 10.33979/2073-7432-2021-75-4-49-57.

Golov Egor Viktorovich

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
Adress: 190005, Russia, Saint Petersburg, Vtoraya Krasnoarmeiskaya str., 4
Candidate of technical sciences
E-mail: egorgoloff@yandex.ru

Shpet Vladimir Romanovich

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
Adress: 190005, Russia, Saint Petersburg, Vtoraya Krasnoarmeiskaya str., 4
Student
E-mail: shpetvolodymyr@yandex.ru

Vasiliev Yaroslav Vladimirovich

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
Adress: 190005, Russia, Saint Petersburg, Vtoraya Krasnoarmeiskaya str., 4
Candidate of technical sciences
E-mail: xen2k@rambler.ru

С.В. ПРИЙМАК, А.В. ДОЙНОВ, Г.И. КОСЕНКО

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ В НЕАКТИВНОМ ЦИЛИНДРЕ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Аннотация: представлена математическая модель описывающая изменение давления в отключенном цилиндре двигателя внутреннего сгорания способом прекращения подачи топлива и остановкой клапанов в закрытом положении. Кроме того, данная математическая модель позволяет определить среднее давление в неактивном цилиндре и, соответственно, в дальнейшем провести расчёт среднего давления механических потерь в двигателе внутреннего сгорания при наличии отключенных цилиндров предлагаемым способом.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, давление в неактивном цилиндре, отключение цилиндров двигателя, улучшение топливной экономичности

Введение

Условия ведения современных боевых действий [1, 2] предъявляют высокие требования к мобильности и подвижности войск. Эти качества во многом зависят как от степени оснащённости войск автомобильной и бронетанковой техникой, так и от ее эксплуатационных свойств. Одним из основных показателей подвижности образцов автомобильной и бронетанковой техникой является запас хода по топливу, характеризующий топливную экономичность их силовых установок. Продолжительная работа образцов автомобильной и бронетанковой техники на месте характеризуется повышенным расходом топлива и в целом существенно снижается запас хода объекта.

Одним из путей улучшения топливной экономичности силовых установок, подтвержденный различными исследованиями [3-7], является изменение числа работающих цилиндров двигателя.

Так, одним из способов изменения числа работающих цилиндров двигателя является прекращение подачи топлива и остановка клапанов в закрытом положении [8-11].

По данным экспериментальных исследований, представленных в работе [12, 13] выигрыш в топливной экономичности для способа отключения цилиндров двигателя прекращением подачи топлива и остановкой клапанов в закрытом положении составляет 26,9 %. Анализ работ посвященных отключению цилиндров двигателя [14-16] показал слабую связь часового расхода топлива G_T от показателей входящих в различные зависимости по его определению.

Материал и методы

Известно, что при работе двигателя на холостом ходу для среднего эффективного давления (p_e) и эффективной мощности (N_e) характерны нулевые значения [17]. Это объясняется тем, что вся развиваемая в цилиндрах двигателя работа затрачивается на преодоление внутренних потерь, т.е. $p_i = p_m$, следовательно, механический КПД – $\eta_m = 0$, а удельный эффективный расход топлива, соответственно, стремиться к бесконечности ($g_e \rightarrow \infty$). Тогда часовой расход топлива G_T будет определяться выражением:

$$G_T = f(n, p_m),$$

где n – частота вращения коленчатого вала двигателя;

p_m – среднее давление механических потерь.

Рассмотрим зависимость для определения среднего давления механических потерь p_m для двигателя с учетом отключенных цилиндров указанным способом [18]:

$$p_m = p_{тр} + p_{н.х} + p_{всп} + p_{тр}^o + p_i^o,$$

где $p_{тр}$ – потери давления на трение в работающих цилиндрах;

$p_{н.х}$ – потери давления на насосные ходы в работающих цилиндрах;

$p_{всп}$ – потери на привод вспомогательного оборудования (масляный, водяной, топливный насосы; генератор; компрессор);

$p_{тр}^o$ – потери давления на трение в неактивных цилиндрах;

p_i^o – среднее давление в неактивном цилиндре.

Теория / расчет

Исходя из того, что в начальный момент закрытия клапанов процесс происходящий в цилиндре двигателя носит характер политропический, а работа по сжатию находящегося в цилиндре воздуха компенсируется не полностью, то необходимо ввести показатель, который охарактеризует данный процесс, а именно среднее давление в неактивном цилиндре p_i^o .

Среднее давление в неактивном цилиндре p_i^o есть давление от разности средних значений для тактов сжатия и расширения, которое в общем виде определяется выражением:

$$p_i^o = p_{сж} - p_{рас},$$

где $p_{сж}$ – среднее давление хода сжатия;

$p_{рас}$ – среднее давление хода расширения.

Определим среднее давление в неактивном цилиндре p_i^o через работы сжатия L_{ac} и расширения $L_{ca'}$. Работа политропического сжатия L_{ac} определяется через параметры процессов [19]:

$$L_{ac} = \frac{p_c V_c}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right). \quad (1)$$

Тогда работа политропического процесса расширения $L_{ca'}$ будет определяться следующим выражением:

$$L_{ca'} = \frac{p_c V_c}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2 - 1}} \right), \quad (2)$$

где n_1 – показатель политропы сжатия;

n_2 – показатель политропы расширения;

ε – степень сжатия;

p_c – давление в конце такта сжатия;

V_c – объём камеры сгорания.

Определим значения средних давлений для политропических процессов сжатия $p_{сж}$ и расширения $p_{рас}$ разделив выражения (1), (2) на рабочий объём цилиндра V_h и заменим p_c в них следующими зависимостями:

$$p_c = p_a \varepsilon^{n_1};$$

$$p_c = p_{a_i} \varepsilon^{n_2},$$

где p_a – давление в начале сжатия;

p_{a_i} – давление в конце расширения.

Исходя из того, что $1/\varepsilon^{n_1 - 1} = T_a/T_c$, а $1/\varepsilon^{n_2 - 1} = T_{a_i}/T_c$ конечные выражения средних давлений для политропических процессов сжатия и расширения примут вид:

$$p_{сж} = \frac{p_a \varepsilon^{n_1}}{\varepsilon - 1} \left(\frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{T_a}{T_c} \right) \right);$$

$$p_{рас} = \frac{p_{a_i} \varepsilon^{n_2}}{\varepsilon - 1} \left(\frac{1}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{T_{a_i}}{T_c} \right) \right),$$

где T_a – температура в начале сжатия;

T_{a_i} – температура в конце расширения;

T_c – температура в конце сжатия.

Тогда среднее давление в неактивном цилиндре p_i^o после преобразования будет определяться следующим выражением:

$$p_i^o = \frac{1}{(\varepsilon - 1)T_c} \left[\frac{p_a \varepsilon^{n_1}}{n_1 - 1} (T_c - T_a) - \frac{p_{a_i} \varepsilon^{n_2}}{n_2 - 1} (T_c - T_{a_i}) \right].$$

На рисунке 1 представлена расчетная диаграмма изменения давления в неактивном цилиндре в начальный момент отключения рассматриваемым способом. Значения параметров давления p_a , температуры T_a начала сжатия и температуры в конце сжатия T_c для проверки предложенных зависимостей взяты из модели двигателя разработанной в программном комплексе «Дизель-РК» для двигателя 12ЧН 15/18 [20].

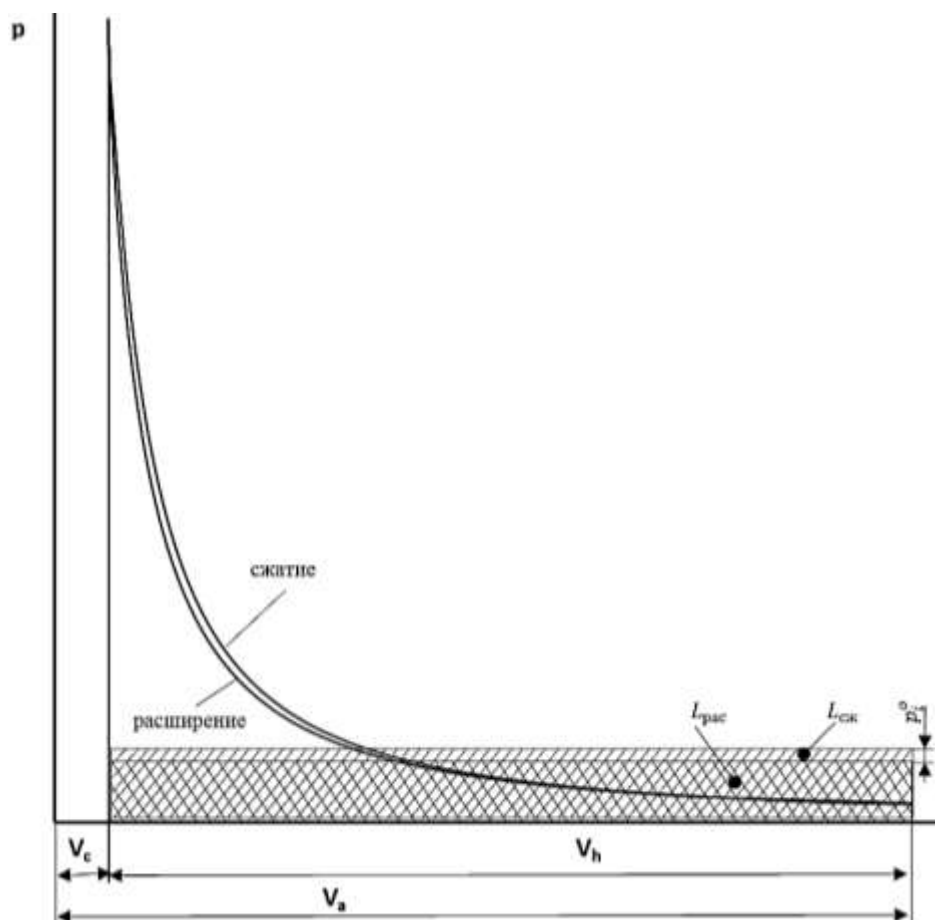


Рисунок 1 – Диаграмма изменения давления в неактивном цилиндре в начальный момент отключения способом прекращения подачи топлива и остановкой клапанов в закрытом положении

Например, материал изготовления гильзы цилиндра является чугун специальный марки ЧН4ХТ, который обладает достаточно высокой тепловой инерцией. Отсутствие выпуска из цилиндра рабочего тела и поступления свежего заряда, а также наличие трения обуславливают повышение температуры деталей ЦПГ. Поэтому в начале хода сжатия и в конце хода расширения вследствие более высокой температуры указанных поверхностей, имеет место подвод теплоты к рабочему телу. На рисунке 2 представлено изменение температуры в неактивном цилиндре двигателя 12ЧН 15/18 для верхнего участка диаграммы, при этом коленчатым валом совершено 28 оборотов за 2 секунды.

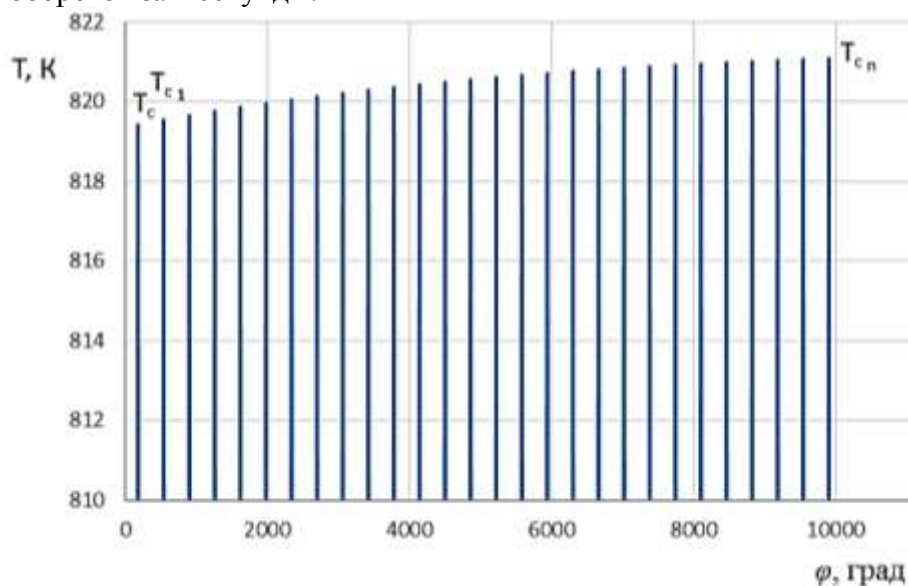


Рисунок 2 – Изменение температуры в неактивном цилиндре способом прекращения подачи топлива и остановкой клапанов в закрытом положении для верхнего участка диаграммы

Большее значение температуры рабочего тела в начале сжатия следующего цикла в сравнении с предыдущим обеспечивает рост температуры в конце такта сжатия (рис. 2) до некоторого значения, которое характеризуется следующим неравенством:

$$T_a < T_{a_i} < T_{a_{i+1}},$$

$$T_c < T_{c_i} < T_{c_{i+1}}.$$

В дальнейшем, отмечается стабилизация как температуры, так и давления в цилиндре.

Исходя из этого работа хода расширения через определенный промежуток времени компенсирует работу сжатия ($L_{сж} = L_{рас}$), т.е устанавливается стабильная индикаторная диаграмма и при этом $p_i^o \rightarrow 0$. Так для двигателя 12ЧН 15/18 условие равенства работ сжатия и расширения наступает через 10 с при $n = 900 \text{ с}^{-1}$.

Диаграмма изменения давления в неактивном цилиндре способом прекращения подачи топлива и остановкой клапанов в закрытом положении для установившегося режима работы двигателя представлена на рисунке 3.

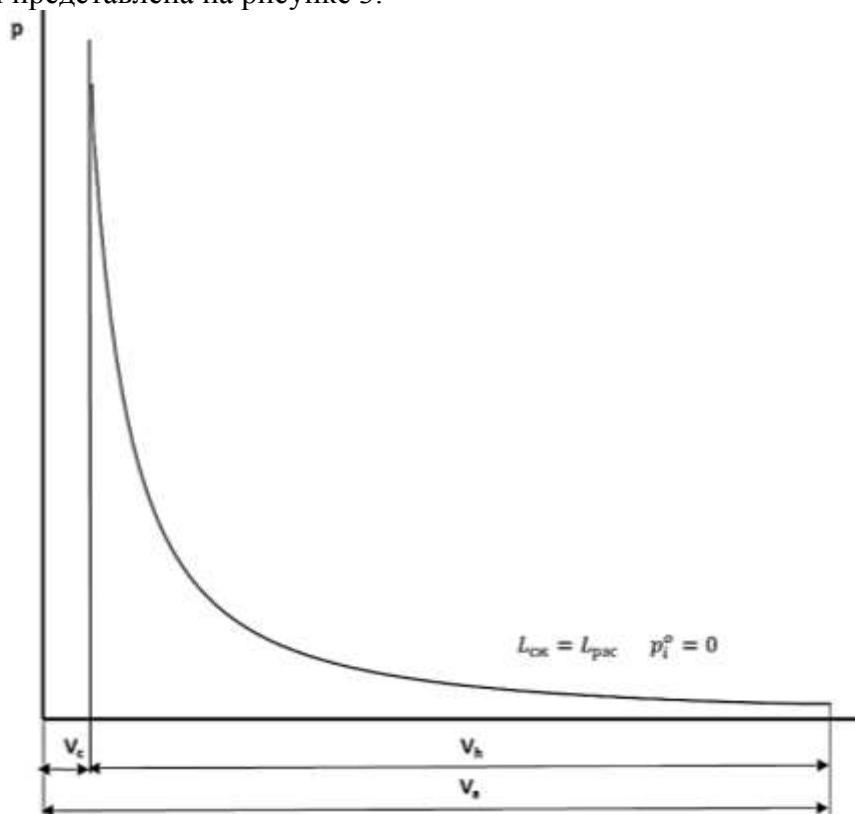


Рисунок 3 – Расчетная диаграмма изменения давления в неактивном цилиндре способом прекращения подачи топлива и остановкой клапанов в закрытом положении для установившегося режима работы двигателя

Выводы

1. Представленная математическая модель позволяет определить среднее давление в неактивном цилиндре в начальный момент времени отключения цилиндров способом прекращения подачи топлива и остановкой клапанов в закрытом положении.
2. Установлена связь снижения среднего давления в неактивном цилиндре вплоть до нулевого значения, в следствии прироста температуры рабочего тела.
3. Предложенная математическая модель позволяет корректнее произвести расчёт среднего давления механических потерь с целью оценки часового расхода топлива для рассмотренного способа изменения числа работающих цилиндров двигателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стратегия национальной безопасности Российской Федерации: Указ Президента Российской Федерации от 2 июля 2021 г. №400. – М., 2021. – 47 с.
2. Военная доктрина Российской Федерации; утв. Президентом РФ № Пр. – 2076 от 25.12.2014 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/47334/html>.

3. Гоц А.Н., Гуськов В.Ф., Фомин В.М. Оценка топливной экономичности автотракторных дизелей, работающих с отключением части цилиндров // Тракторы и сельхозмашины. - 2020. - №3. - С. 19-27.
4. Зиняев А.Б. Возможности повышения топливной экономичности дизелей типа ЯМЗ-238 отключением цилиндров и циклов // Двигателестроение. - 1991. - №3. - С. 39-41.
5. Драгунов Г.Д., Мурог И.А., Медведев А.Н. Эффективность отключения части цилиндров для повышения топливной экономичности дизеля КамАЗ 740.10 // Двигателестроение. - 2010. - №2. - С. 34-36.
6. Балабин В.Н. Регулирование транспортных двигателей отключением части цилиндров: монография. - М.: УМЦ ЖДТ, 2007. - 143 с.
7. Leone T.G., Pozar M. Fuel economy benefit of cylinder deactivation-sensitivity to vehicle application and operating constraints // SAE Technical Paper. - 2001. - № 2001-01-3591. - P. 1-8.
8. Пат. 216351 Российская Федерация, МПК F02D 17/02. Устройство адаптивным управлением работой цилиндров двигателя внутреннего сгорания.
9. Пат. 1173050 SU, МПК F02 M 17/02. Устройство для регулирования многоцилиндрового дизеля.
10. Дюринг С.М. Оценка топливной экономичности автотракторных дизелей при отключении части цилиндров различными способами // Дни науки студентов Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых. - 2020. - №24. - С. 1125-1130.
11. Zhao J., Xi Q., Wang S., Wang S. Improving the partial-load fuel economy of 4-cylinder SI engines by combining variable valve timing and cylinder-deactivation through double intake manifolds // Applied Thermal Engineering. - 2018. - Vol. 141. - P. 245-256.
12. Березний В.В. Сравнительные испытания судового вспомогательного дизеля при отключении части цилиндров различными способами // Двигателестроение. - 1985. - №11. - С. 6-9.
13. Баширов Р.М., Гайсин Э.М., Сафин Ф.Р. Повышение эффективности регулирования нагрузки дизельного двигателя отключением цилиндров // Известия международной академии аграрного образования. - 2016. - №31. - С. 8-12.
14. Федосеев С.Ю. Повышение топливной экономичности тракторно-транспортного агрегата отключением части цилиндров двигателя: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. - Челябинск, 2015. - 156 с.
15. Суркин В.И., Федосеев С.Ю., Петелин А.А. Анализ изменения механических потерь дизеля тракторно-транспортного агрегата при отключении части цилиндров // Достижения науки и техники АПК. - 2012. - №7. - С. 80-82.
16. Березний В.В. Экономические и энергетические показатели работы дизелей при регулировании отключением цилиндров // Двигателестроение. - 1980. - №8. - С. 47-49.
17. Белов П.М., Бурячко В.Р., Акатов Е.И. Двигатели армейских машин. Часть первая. Теория. - М.: Воениздат, 1971. - 333 с.
18. Дойнов А.В., Эдигаров В.Р., Мамчур Ю.В. Теоретические основы рабочих процессов в двигателе с изменяемым числом работающих цилиндров // Вопросы оборонной техники. - Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. - 2023. - №3-4(177-178). - С. 28-33.
19. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей: Учебник для ВУЗов / Вырубов Д.Н., Иващенко Н.А., Ивин В.И. и др.; под ред. Орлина А.С., Круглова М.Г. - 4-е изд.; перераб и доп. - М.: Машиностроение, 1983. - 372 с.
20. Кулешов А.С. Программа расчета и оптимизация двигателей внутреннего сгорания «Дизель-РК». Описание математических моделей, решения оптимизационных задач. - М.: МГТУ им. Баумана, 2004. - 123 с.

Приймак Сергей Владимирович

Филиал Военной академии материально-технического обеспечения

Адрес: 644098, Россия, г. Омск 14-й Военный городок д. 45

К.п.н., начальник филиала Военной академии материально-технического обеспечения

E-mail: otuu@mail.ru

Дойнов Александр Владимирович

Филиал Военной академии материально-технического обеспечения

Адрес: 644098, Россия, г. Омск 14-й Военный городок, д. 45

Адъюнкт кафедры двигателей

E-mail: dedo-88-88@mail.ru

Косенко Григорий Иванович

Филиал Военной академии материально-технического обеспечения

Адрес: 644098, Россия, г. Омск 14-й Военный городок, д. 45

Д.ф.-м.н., доцент, профессор кафедры физико-математических дисциплин

E-mail: otuu@mail.ru

S.V. PRIYMAK, A.V. DOINOV, G.I. KOSENKO

MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINING THE PRESSURE IN AN INACTIVE CYLINDER OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Abstract. A mathematical model is presented describing the pressure change in the disconnected cylinder of an internal combustion engine by stopping the fuel supply and stopping the valves in the closed position. In addition, this mathematical model allows you to determine the average pressure in an inactive cylinder and, accordingly, further calculate the average pressure of mechanical losses in an internal combustion engine in the presence of disconnected cylinders by the proposed method.

Keywords: internal combustion engine, inactive cylinder pressure, engine cylinder shutdown, fuel efficiency improvement

BIBLIOGRAPHY

1. Strategiya natsional'noy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii: Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 2 iyulya 2021 g. №400. - M., 2021. - 47 s.
2. Voennaya doktrina Rossiyskoy Federatsii; utv. Prezidentom RF № Pr. - 2076 ot 25.12.2014 g. [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/47334/html>.
3. Gots A.N., Gus'kov V.F., Fomin V.M. Otsenka toplivnoy ekonomichnosti avtotraktornykh dizeley, rabotayushchikh s otklyucheniem chasti tsilindrov // Traktory i sel'khoz mashiny. - 2020. - №3. - S. 19-27.
4. Zinyaev A.B. Vozmozhnosti povysheniya toplivnoy ekonomichnosti dizeley tipa YAMZ-238 otklyucheniem tsilindrov i tsiklov // Dvigatelistroenie. - 1991. - №3. - S. 39-41.
5. Dragunov G.D., Murog I.A., Medvedev A.N. Effektivnost' otklyucheniya chasti tsilindrov dlya povysheniya toplivnoy ekonomichnosti dizelya KamAZ 740.10 // Dvigatelistroenie. - 2010. - №2. - S. 34-36.
6. Balabin V.N. Regulirovanie transportnykh dvigateley otklyucheniem chasti tsilindrov: monografiya. - M.: UMTS ZHDT, 2007. - 143 s.
7. Leone T.G., Pozar M. Fuel economy benefit of cylinder deactivation-sensitivity to vehicle application and operating constraints // SAE Technical Paper. - 2001. - № 2001-01-3591. - P. 1-8.
8. Pat. 216351 Rossiyskaya Federatsiya, MPK F02D 17/02. Ustroystvo adaptivnym upravleniem raboty tsilindrov dvigatelya vnutrennego sgoraniya.
9. Pat. 1173050 SU, MPK F02 M 17/02. Ustroystvo dlya regulirovaniya mnogotsilindrovogo dizelya.
10. Dyuring S.M. Otsenka toplivnoy ekonomichnosti avtotraktornykh dizeley pri otklyuchenii chasti tsilindrov razlichnymi sposobami // Dni nauki studentov Vladimirskego gosudarstvennogo universiteta imeni Aleksandra Grigor'evicha i Nikolaya Grigor'evicha Stoletovykh. - 2020. - №24. - C. 1125-1130.
11. Zhao J., Xi Q., Wang S., Wang S. Improving the partial-load fuel economy of 4-cylinder SI engines by combining variable valve timing and cylinder-deactivation through double intake manifolds // Applied Thermal Engineering. - 2018. - Vol. 141. - R. 245-256.
12. Berezniy V.V. Sravnitel'nye ispytaniya sudovogo vspomogatel'nogo dizelya pri otklyuchenii chasti tsilindrov razlichnymi sposobami // Dvigatelistroenie. - 1985. - №11. - S. 6-9.
13. Bashirov R.M., Gaysin E.M., Safin F.R. Povyshenie effektivnosti regulirovaniya nagruzki dizel'nogo dvigatelya otklyucheniem tsilindrov // Izvestiya mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya. - 2016. - №31. - S. 8-12.
14. Fedoseev S.Yu. Povyshenie toplivnoy ekonomichnosti traktorno-transportnogo agregata otklyucheniem chasti tsilindrov dvigatelya: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01. - Chelyabinsk, 2015. - 156 s.
15. Surkin V.I., Fedoseev S.Yu., Petelin A.A. Analiz izmeneniya mekhanicheskikh poter' dizelya traktor-no-transportnogo agregata pri otklyuchenii chasti tsilindrov // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. - 2012. - №7. - S. 80-82.
16. Berezniy V.V. Ekonomicheskie i energeticheskie pokazateli raboty dizeley pri regulirovanii otklyucheniem tsilindrov // Dvigatelistroenie. - 1980. - №8. - S. 47-49.
17. Belov P.M., Buryachko V.R., Akatov E.I. Dvigateli armeyskikh mashin. Chast' pervaya. Teoriya. - M.: Voenizdat, 1971. - 333 s.
18. Doynov A.V., Edigarov V.R., Mamchur YU.V. Teoreticheskie osnovy rabochikh protsessov v dvigatele s izmenyaemym chislom rabotayushchikh tsilindrov // Voprosy oboronnoy tekhniki. - Seriya 16: Tekhnicheskie sredstva protivodeystviya terrorizmu. - 2023. - №3-4(177-178). - S. 28-33.
19. Dvigateli vnutrennego sgoraniya. Teoriya porshnevnykh i kombinirovannykh dvigateley: Uchebnik dlya VUZov / Vyrubov D.N., Ivashchenko N.A., Ivin V.I. i dr.; pod red. Orlina A.S., Kruglova M.G. - 4-e izd.; pererab i dop. - M.: Mashinostroenie, 1983. - 372 s.
20. Kuleshov A.S. Programma rascheta i optimizatsiya dvigateley vnutrennego sgoraniya «Dizel'-RK». Opisanie matematicheskikh modeley, resheniya optimizatsionnykh zadach. - M.: MGTU im. Bauman, 2004. - 123 s.

Priymak Sergey Vladimirovich

Branch of the Military Academy of Logistics
Address: 644098, Russia, Omsk, 14th Military town, 45
Candidate of pedagogical sciences
E-mail: otiiu@mil.ru

Kosenko Grigory Ivanovich

Branch of the Military Academy of Logistics
Address: 644098, Russia, Omsk 14th Military town, 45
Doctor of physical and mathematical sciences
E-mail: otiiu@mil.ru

Doinov Alexander Vladimirovich

Branch of the Military Academy of Logistics
Address: 644098, Russia, Omsk 14th Military town, 45
Associate professor of the department of engines
E-mail: dedo-88-88@mail.ru

С.А. СУХАНОВ, А.Н. НОВИКОВ, Х.М. ТАХТАМЫШЕВ

МЕТОДИКА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПРИРАБОТКИ КАПИТАЛЬНО ОТРЕМОНТИРОВАННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ ПРИ ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЯХ

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы, связанные с совершенствованием методов диагностирования процесса приработки двигателей внутреннего сгорания путем сравнения результатов лабораторных испытаний с помощью стендов и результатов, полученных путем проведения динамических испытаний непосредственно при движении автомобилей по пути следования в условиях эксплуатации. Авторами обосновывается актуальность контроля состояния трущихся поверхностей в процессе приработки, предлагается комплексный метод проведения испытаний при различных режимах работы двигателей и дистанционному контролю диагностических параметров. По результатам проведенных экспериментальных испытаний авторами установлены корреляционные связи между значениями диагностических параметров при различных нагрузочных режимах двигателей. В статье также рассматриваются теоретические аспекты физических процессов, происходящих в процессе приработки за счет увеличения площади трущихся поверхностей.

Ключевые слова: двигатели внутреннего сгорания, приработка, диагностические параметры, режимы, испытания, процесс, капитальный ремонт, эксперимент, корреляция, стенд, динамический, полевой, методика, обороты, пробег

Введение

Приработка деталей двигателя внутреннего сгорания (ДВС) являются неотъемлемой частью капитального ремонта как завершающего этапа технологического процесса. Этот этап позволяет убедиться в правильной работе двигателя и предотвратить преждевременные отказы и повреждения. Между тем среднее время приработки двигателя после капитального ремонта зависит от многих факторов, таких как состояние деталей, качество ремонта, условия эксплуатации и т.д. В этой связи немаловажное значение имеет контроль процесса приработки до его окончания, который может осуществляться с помощью средств и методов диагностирования. Поскольку интенсивность процесса приработки может варьироваться даже для двигателей одной марки, отслеживание параметров трущихся поверхностей с помощью диагностирования должно осуществляться на индивидуальной основе для конкретного экземпляра ДВС. Более того, каждая марка двигателей различных автопроизводителей имеет свои конструкционные и технологические особенности, отражающиеся на процессе приработки. Это обстоятельство подтверждается опытом эксплуатации, свидетельствующем о широком диапазоне периода приработки.

Так, на практике считается, что пробег от 1000 до 3000 километров после капитального ремонта является достаточным для завершения приработки деталей и последующей оптимальной работы двигателя внутреннего сгорания. Эта ситуация подтверждает выше отмеченное предложение о целесообразности диагностирования процесса приработки даже одной марки двигателей. Более того, для двигателей различных марок проведение регулярной диагностики двигателя в период приработки и следование рекомендациям производителя должно быть обязательным техническим условием и включено в регламент работ по капитальному ремонту ДВС.

Вместе с тем проведение диагностических испытаний традиционными лабораторными методами требует больших затрат на приобретение соответствующих стендов для обкатки после капитального ремонта и сопутствующей диагностической аппаратуры. Исходя из ограниченных возможностей современных авторемонтных предприятий основным способом приработки деталей двигателя является динамический непосредственно на автомобиле. При этом ответственность за соблюдение рекомендаций при динамической обкатке ДВС после капитального ремонта полностью лежит на водителях, которые зачастую нарушаются ими, что приводит к преждевременным отказам систем двигателя.

Поэтому, динамический метод диагностирования предлагается дополнить комплексным подходом к разработке эффективных методов, средств и технологий контроля проведения испытаний. Такой подход является экономически и технологически наиболее оправданным в системе диагностирования при использовании безразборных методов для оценки технического состояния машин. Таким образом, снижению затрат на техническое обслуживание (ТО) и ремонт, повышению уровня долговечности и работоспособности ДВС при динамических испытаниях в значительной мере способствует комплексный подход к разработке эффективных методов, средств и технологий диагностирования и автоматизированных управляющих систем на базе микропроцессорной техники с минимальными требованиями к контролепригодности ДВС в период приработки.

Материал и методы

В соответствии с поставленной задачей был проведен ряд экспериментальных исследований на двигателях различных марок с целью определения изменения величин рабочих характеристик двигателей как новых, так и после капитального ремонта. При проведении экспериментальных исследований было задействовано два автомобиля LADAGranta с двигателем ВАЗ 21186 с пробегами 1500 и 1000 км; два действующих стенда с ДВС ВАЗ 11186 с наработкой 10 и 15 моточасов, установленных на специальной раме; два действующих стенда с ДВС ВАЗ 21074 с наработкой 20 и 30 моточасов, также установленных на специальной раме, и три двигателя ВАЗ 11186 после капитального ремонта, установленные на универсальные обкаточные стенды серии КС276.

Испытания производились следующим образом.

К блоку управления автомобиля подключался диагностический сканер для контроля параметров работы двигателя в реальном времени.

Измерялись следующие параметры:

- температура охлаждающей жидкости;
- скорость вращения коленчатого вала;
- удельная нагрузка на двигатель, рассчитываемая диагностическим сканером;
- длительность импульса впрыска топливных форсунок при установившемся режиме холостого хода.

При проведении испытаний был разработан следующий алгоритм проведения экспериментального исследования.

До запуска двигателя при температуре 20–22° С было измерено сопротивление проворачиванию коленчатого вала динамометрическим ключом. После запуска двигателя на установившемся холостом ходу 860–900 об/мин в течение 80 минут измерялась расчетная нагрузка на двигатель и длительность импульса впрыска топлива с помощью диагностического сканера (рис. 1).

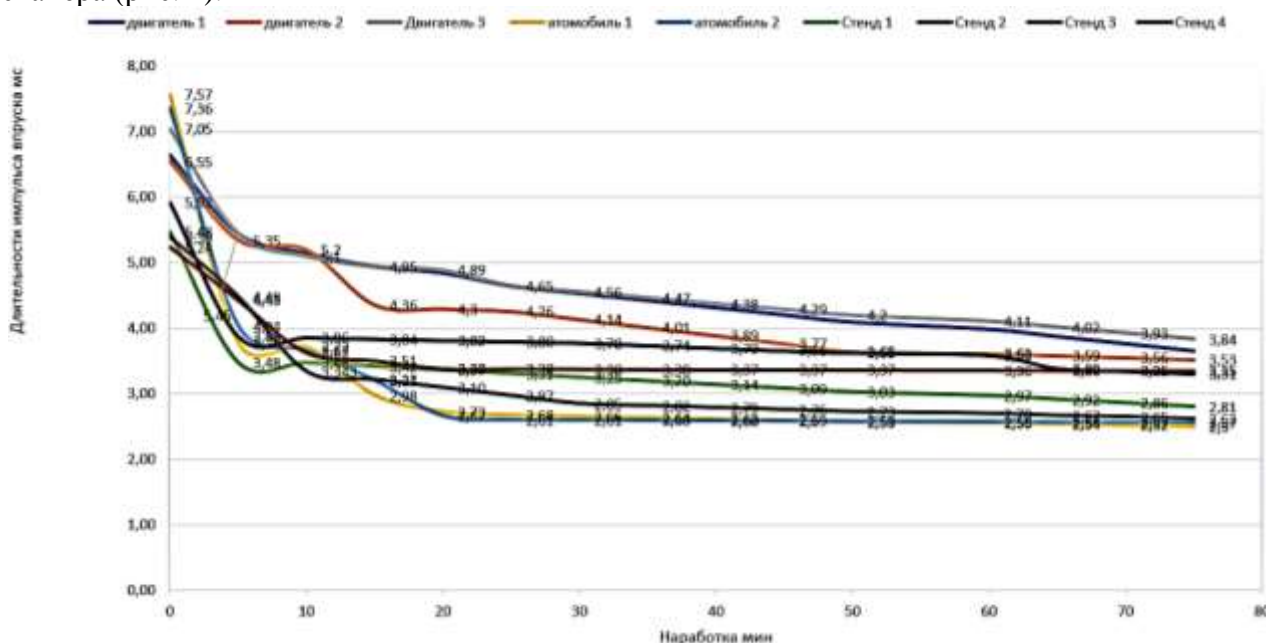


Рисунок 1 - Изменение длительности импульса впрыска в период от 0 до 80 минут работы двигателя при установившемся режиме холостого хода

После чего измерены давление в надпоршневом пространстве, сопротивление проворачиванию двигателя, прорыв картерных газов и герметичность камеры сгорания. Затем двигатель был запущен снова и на него была подана нагрузка путем включения потребителей тока. Расчетная нагрузка составляла 41% от номинальной.

При достижении рабочей температуры двигателя приступали ко второму этапу обкатки: величина оборотов коленчатого вала устанавливались равной 1600 об./мин в течении 60 минут (рис. 2), что согласно рекомендациям большинства ученых [1-5], специализирующихся по горячей обкатке двигателя, является оптимальным условием для исключения возникновения граничного трения в результате масляного голодания трущихся поверхностей. Отвод тепла от двигателя осуществлялся за счет работы вентилятора системы охлаждения автомобиля. По истечению заданного времени производились замеры: величины давления в надпоршневом пространстве; величины сопротивления проворачиванию двигателя; величины прорыва картерных газов и герметичность камеры сгорания. Также фиксировались индивидуальные параметры работы двигателя без нагрузки для их сравнения с параметрами в ходе дистанционного диагностирования, так как каждый капитально отремонтированный двигатель фактически имеет индивидуальные характеристики работы

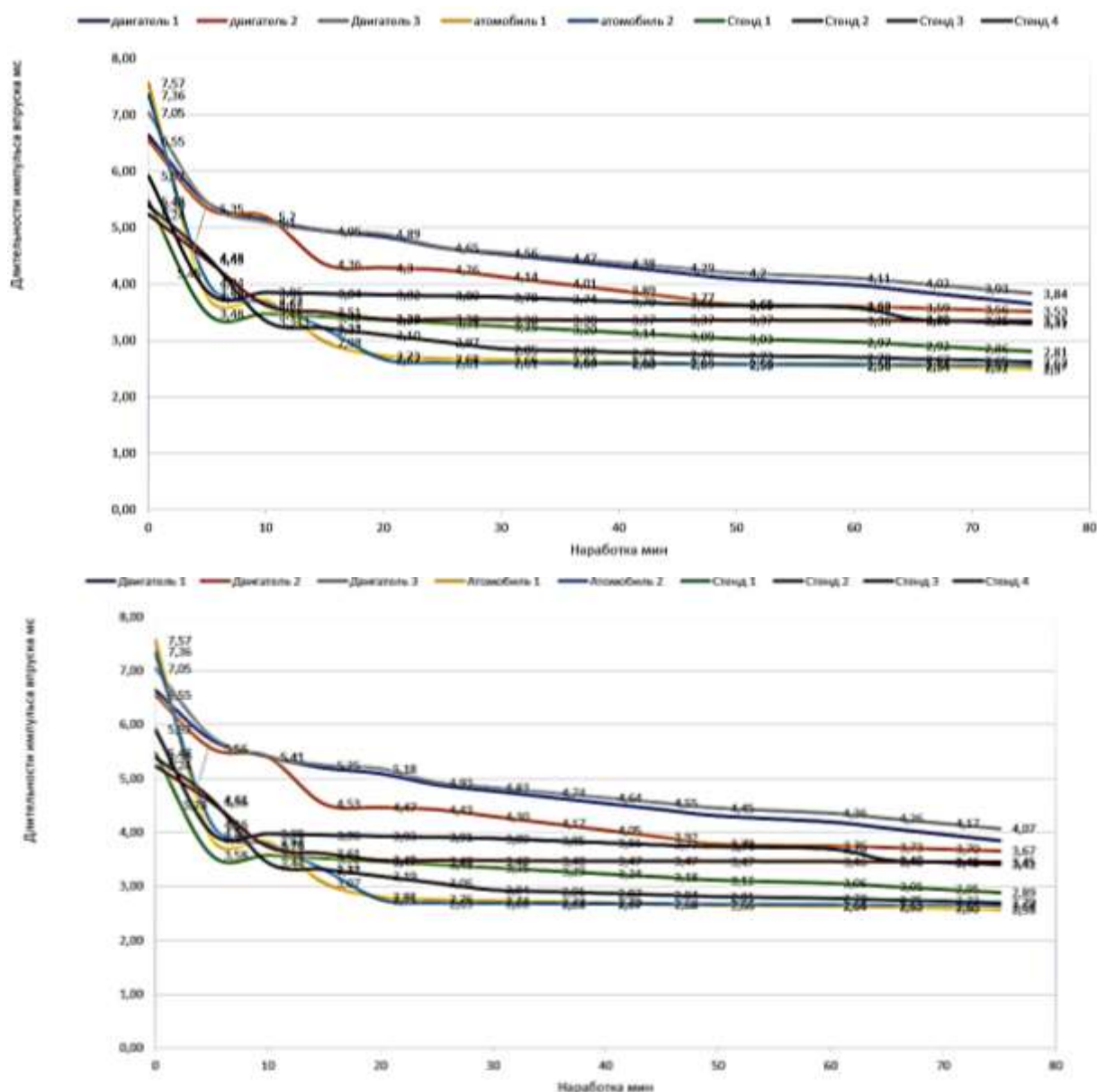


Рисунок 2 - Изменение длительности импульса впрыска в период от 0 до 80 минут работы двигателя при установившемся режиме холостого хода с нагрузкой 41 %

На третьем этапе лабораторных испытаний обороты коленчатого вала двигателя устанавливались равными 1600 об./мин. И подавалась нагрузка за счет включения потребителей тока в течение 60 минут.

После снижения температуры охлаждающей жидкости двигателя до значений 20-22⁰ С испытания проводились повторно. Также фиксировались индивидуальные параметры работы двигателя без нагрузки для их последующего сравнения с параметрами в ходе дистанционного диагностирования.

Теория / Расчет

Известно, что состояние рабочих поверхностей деталей двигателя после определенного периода эксплуатации отличается от первоначального. Поверхностный слой деталей, находившихся в работе, более износостойкий, лучше удерживает смазочный материал [14].

Сопрягаемые рабочие поверхности приработанных деталей имеют большую площадь контакта. В отличие от них сопрягаемые поверхности новых деталей из-за погрешностей механической обработки поверхностей контактируют лишь микровыступами, расположенными на вершинах микронеровностей исходных поверхностей трения [15].

При этом в местах фактического контакта при трении могут создаваться напряжения, превышающие предел текучести, а температура может достигать значений, близких к температурам плавления материалов [6-9].

Такие условия трения приводят к изменению формы и разрушению микронеровностей на поверхности трибосоединений. Однако, если при приработке трущихся пар в таких режимах не происходит критического изменения структуры их поверхностей, то благодаря усиленному деформированию микронеровностей и изнашиванию формируются близкие к оптимальным характеристики поверхностного слоя, необходимые для нормальной работы деталей [10-13].

В период приработки на поверхностях исходных трибосоединений разрушаются неровности и шероховатости, которые не соответствуют условиям работы деталей по своей форме и размерам. Площадь контакта трущихся пар увеличивается за счет удаления выступов микронеровностей, появившихся в результате механической обработки, сборочных или тепловых деформаций деталей.

Поверхностные деформации микронеровностей, скачки температуры в местах контакта трибосоединений, химические процессы, проходящие между поверхностями трущихся деталей и смазочным материалом, и другие процессы приводят к таким изменениям свойств деталей и структуры поверхностных слоев, которые соответствуют нормальной работе трибосоединения при различных нагрузках [16].

Возвращаясь к сущности процесса приработки, следует сослаться на ГОСТ 23.002-78, согласно которому приработка - это изменение геометрии поверхности трения и физико-механических свойств поверхностных слоев материала в начальный период трения, проявляющееся при постоянных внешних условиях в уменьшении силы трения, температуры и интенсивности изнашивания. А следовательно, снижению нагрузки на двигатель и уменьшению сопротивления проворачиванию [17, 18].

Длительность импульса впрыска топлива является ключевым параметром для обеспечения оптимальной производительности двигателя. Фактически от величины длительности импульса впрыска топлива зависит обогащение топливной смеси. Длительность электрического импульса управления форсункой рассчитывается микроконтроллером электронной системы управления двигателя (ЭСУД) в зависимости от сигналов датчиков: величины открытия дроссельной заслонки, температуры воздуха, температуры двигателя, оборотов двигателя, нагрузки и других датчиков. Исходя из этого в экспериментальном исследовании за диагностический параметр, косвенно характеризующий величину нагрузки на двигатель, была принята длительность впрыска топлива, проведены измерения длительности импульса впрыска на двигателях различных марок с различными условиями работы. С целью обработки полученного массива данных был разработан программный код на языке программирования Python, позволяющий обработать массив данных для определения зависимости между временем впрыска и наработкой двигателя, используя коэффициент корреляции Пирсона. Для его расчета вычисляли ковариацию между временем впрыска и наработкой двигателя.

Благодаря проведенным расчетам было установлено, что значения коэффициента корреляции для всех испытуемых агрегатов и стендов отрицательны, что указывает на обратную зависимость между временем впрыска и наработкой двигателя. Значения коэффициента корреляции для разных испытуемых агрегатов и стендов различаются по силе связи между переменными. Наиболее сильная обратная связь наблюдается для двигателя 1 (коэффициент корреляции -0,908), что может указывать на то, что для этого двигателя величина трения по-

сле капитального ремонта выше, чем в остальных двигателях. В свою очередь это обстоятельство влияет на длительность импульса впрыска топлива бензиновой топливной системы. При этом наименее сильная связь наблюдается для автомобиля 1 (коэффициент корреляции - 0,61) что свидетельствует о влиянии величины трения в двигателе после капитального ремонта на длительность импульса впрыска топлива бензиновой топливной системы [19-21].

Таблица 1 - Корреляция между временем впрыска и наработкой двигателя

Объект исследования	Коэффициент корреляции
Двигатель 1	-0,908300137
Двигатель 2	-0,852657083
Двигатель 3	-0,846388924
автомобиль 1	-0,610601799
автомобиль 2	-0,621078964
Стенд 1	-0,70369318
Стенд 2	-0,662416659
Стенд 3	-0,626384667
Стенд 4	-0,746522605

Более детальное изучение этой проблемы позволит определить, какие способы контроля и управления величиной трения могут обеспечить к более эффективную работу двигателей и автомобилей.

Таблица 2 - Корреляция между временем впрыска и наработкой двигателя при нагрузке на двигатель 40 %

Объект исследования	Коэффициент корреляции
Двигатель 1	-0,940334616
Двигатель 2	-0,876274923
Двигатель 3	-0,883540522
автомобиль 1	-0,624134013
автомобиль 2	-0,635932831
Стенд 1	-0,736197659
Стенд 2	-0,697426471
Стенд 3	-0,64500104
Стенд 4	-0,765147422

Из полученных результатов можно сделать вывод о том, что при увеличении нагрузки на двигатель значения коэффициента корреляции для разных испытуемых агрегатов и стендов изменяются неравномерно, но прослеживается общая тенденция к увеличению обратной зависимости между временем впрыска и наработкой двигателя.

Результаты

Проведенные испытания автомобильных двигателей в послеремонтный период в условиях эксплуатации показывают эффективность использования предложенной методики контроля состояния приработки двигателя после капитального ремонта для получения зависимостей между интенсивностью приработки деталей ЦПГ и режимами эксплуатации автомобилей.

Обсуждение

Работа в данном направлении раскрывает возможности для руководителей автотранспортных предприятий легковых автомобилей по осуществлению контроля режимов вождения, расхода горюче-смазочных материалов (ГСМ) и рационального использования транспортных средств, соблюдения трудовой дисциплины водителями, соблюдения маршрута движения.

Выводы

По результатам проведенных экспериментальных испытаний установлены корреляционные связи между значениями диагностических параметров при различных нагрузочных режимах двигателей. Разработанная методика диагностирования состояния трущихся поверхностей двигателей путем проведения полевых испытаний, позволяет определять моменты окончания процесса приработки без использования специальных лабораторных стендов. При этом обоснованы диагностические средства и параметры, достаточные для использова-

ния методики на практике для небольших автосервисных предприятий, включая гаражные автосервисы. Внедрение данной методики контроля на предприятиях автомобильного транспорта приведет к значительному увеличению ресурсов двигателей и существенному снижению эксплуатационных затрат на содержание автомобилей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мухин Е.М., Столяров Н.И. Приработка и испытание автомобильных двигателей. - М.: Транспорт, 1981. - 265 с.
2. Некрасов С.С., Носихин П.И. Послеремонтная обкатка двигателя // Агропромышленный комплекс России. - 1989. - №1. - С. 38-39.
3. Нигаматов М.Х. Ускоренная обкатка двигателя после ремонта. - М: Колос, 1984. - 79 с.
4. Носихин П.И. Повышение качества и ускорения обкатки отремонтированных дизелей на основе современных достижений трибологии: Автореф. дис. ... д-а техн. наук. - М., 1997. - 34 с.
5. Савченко Н.Э. Теоретические и экспериментальные основы процесса приработки сопряженных деталей двигателей внутреннего сгорания: Дисс ... д-а техн. наук. - Киев, 1971. - 457 с.
6. Ребиндер П.Я. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика: Изб. Труды. - М.: Наука, 1979. - 381 с.
7. Стрельцов В.В., Попов В.Н., Карпенков В.Ф. Ресурсосберегающая ускоренная обкатка отремонтированных двигателей. - М.: Колос, 1995. - 175 с.
8. Храмцов Н.В., Королев А.Е., Храмцов Н.В. Совершенствование технической обкатки автотракторных двигателей. - Тюмень, 1989. - 12 с.
9. Цыпцын В.И. Повышение долговечности отремонтированных дизелей совершенствованием технологии приработки и применением) упрочняющих покрытий: Дис. ... д-а техн. наук. - М., 1991. - 485 с.
10. Быстрое В.Н. Эффект безызносности и его применение в технике // Долговечность трущихся деталей машин / Под ред. Д.Н. Гаркунова. - М.: Машиностроение, 1990.
11. Кольцов Л.А. Манжетные уплотнения из композиционного полиуретана, работающие в режиме избирательного переноса // Долговечность трущихся деталей, 1986.
12. Куксенова Л.И. Закономерности структурных изменений и массоперенос в поверхностных слоях и их влияние на износ трибосопряжений медный сплав-сталь: Дис. ... д-ра техн. наук. - М.: 1990. - 475 с.
13. Курлов О.Н. Влияние физико-химических свойств конструкционных и смазочных материалов на процесс избирательного переноса / Под ред. Д.Н. Гаркунова // Долговечность трущихся деталей машин. - М.: Машиностроение. - 1983. - С. 57-59.
14. Руководство по техническому диагностированию при ТО и ремонте тракторов и с.х. машин. - М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2001. - 249 с.
15. Добролюбов И.П., Лившиц В.М. Динамический метод диагностики автотракторных двигателей. Принцип построения диагностических моделей переходных процессов. - Новосибирск: Сиб. отд. ВАСХНИЛ, 1981. - 86 с.
16. А.с. 267199 СССР. Способ определения герметичности над-поршневого пространства в цилиндрах ДВС.
17. Стрельцов В.В. Ускорение приработки деталей во время стендовой обкатки отремонтированных двигателей внутреннего сгорания (на примере ЗМЗ-53 и ЗИЛ-130): Дис. ... доктора техн. наук. - М., 1993. - 619 с.
18. Гаркунов Д.Н. Триботехника. - М.: Машиностроение, 1986. - 424 с.
20. Карпенков М.А. Интенсификация процесса приработки двигателей УМЗ применением присадок в масло с ПАВ и ХАВ: Автореф. дис. ... канд. тех. наук. - Пенза, 2002. - 18 с.
21. Михлин В.М. Прогнозирование технического состояния машин. - М.: Колос, 1976. - 288 с.

Суханов Сергей Алексеевич

Краснодарский торгово-экономический колледж

Адрес: 350075, Россия, г. Краснодар, ул. Стасова, д. 177

Преподаватель многопрофильного отделения №5 по направлению техническое обслуживание и ремонт двигателей узлов и агрегатов автомобилей.

E-mail: Passatru1@rambler.ru

Новиков Александр Николаевич

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

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

Д.т.н., профессор, зав. кафедрой сервиса и ремонта машин

E-mail: novikovan57@gmail.com

Тахтамышев Хизир Махмудович

Невинномысский государственный гуманитарно-технический институт

Адрес: 357108, Россия, г. Невинномысск, б-р Мира, 17

Д.т.н., профессор, профессор кафедры строительства, транспорта, машиностроения и энергетики

E-mail: hizirt43@mail.ru

METHOD FOR DIAGNOSING THE PROCESS OF BREAKING-IN OF OVERHAULD INTERNAL COMBUSTION ENGINES OF CARS DURING FIELD TESTS

Abstract. The article deals with the issues related to the improvement of methods for diagnosing the process of running-in of internal combustion engines by comparing the results of laboratory tests using stands and the results obtained by conducting dynamic tests directly when cars are moving along the route under operating conditions. The authors substantiate the relevance of monitoring the condition of the rubbing surfaces during the run-in process, propose a comprehensive method of testing under various operating modes of engines and remote monitoring of diagnostic parameters. According to the results of the experimental tests carried out, the authors have established correlations between the values of diagnostic parameters under different engine load conditions. The article also discusses the theoretical aspects of physical processes occurring during the burn-in process due to an increase in the area of rubbing surfaces.

Keywords: internal combustion engines, running-in, diagnostic parameters, modes, tests, process, major repairs, experiment, correlation, stand, dynamic, field, methodology, speed, mileage

BIBLIOGRAPHY

1. Mukhin E.M., Stolyarov N.I. Prirabotka i ispytanie avtomobil'nykh dvigateley. - M.: Transport, 1981. - 265 s.
2. Nekrasov S.S., Nosikhin P.I. Posleremontnaya obkatka dvigatelya // Agropromyshlennyy kompleks Rossii. - 1989. - №1. - S. 38-39.
3. Nigamatov M.H. Uskorennaya obkatka dvigatelya posle remonta. - M: Kolos, 1984. - 79 s.
4. Nosikhin P.I. Povyshenie kachestva i uskoreniya obkatki otremonirovannykh dizeley na osnove sovmennykh dostizheniy tribologii: Avtoref. dis. ... d-a tekhn. nauk. - M., 1997. - 34 s.
5. Savchenko N.E. Teoreticheskie i eksperimental'nye osnovy protsessa prirabotki sopryazhennykh detaley dvigateley vnutrennego sgoraniya: Diss. ... d-a tekhn. nauk. - Kiev, 1971. - 457 s.
6. Rebinder P.Ya. Poverkhnostnye yavleniya v dispersnykh sistemakh. Fiziko-khimicheskaya mekhanika: Izv. Trudy. - M.: Nauka, 1979. - 381 s.
7. Strel'tsov V.V., Popov V.N., Karpenkov V.F. Resursoberegayushchaya uilyurennaya obkatka otremonirovannykh dvigateley. - M.: Kolos, 1995. - 175 s.
8. Hramtsov N.V., Korolev A.E., Hramtsov N.V. Sovershenstvovanie tekhnicheskoy obkatki avtotraktornykh dvigateley. - Tyumen', 1989. - 12 s.
9. Tsiptsyn V.I. Povyshenie dolgovechnosti otremonirovannykh dizeley sovershenstvovaniem tekhnologii prirabotki i primeneniem) uprochnyayushchikh pokrytiy: Dis. ... d-a tekhn. nauk. - M., 1991. - 485 s.
10. Bystroe V.N. Effekt bezyznosnosti i ego primeneniye v tekhnike // Dolgovechnost' trushchikhssya detaley mashin / Pod red. D.N. Garkunova. - M.: Mashinostroyeniye, 1990.
11. Kol'tsov L.A. Manzhetnye uplotneniya iz kompozitsionnogo poliuretana, rabotayushchie v rezhime izbiratel'nogo perenosa // Dolgovechnost' trushchikhssya detaley, 1986.
12. Kuksenova L.I. Zakonomernosti strukturnykh izmeneniy i massoperenos v poverkhnostnykh sloiyakh i ikh vliyaniye na iznos tribosopryazheniy mednyy splavstal': Dis. ... d-ra tekhn. nauk. - M.: 1990. - 475 s.
13. Kurlov O.N. Vliyaniye fiziko-khimicheskikh svoystv konstruksionnykh i smazochnykh materialov na protsess izbiratel'nogo perenosa / Pod red. D.N. Garkunova // Dolgovechnost' trushchikhssya detaley mashin. - M.: Mashinostroyeniye. - 1983. - S. 57-59.
14. Rukovodstvo po tekhnicheskomu diagnostirovaniyu pri TO i remonte traktorov i s.kh, mashin. - M.: FGNU "Rosinformagrotekh", 2001. - 249 s.
15. Dobrolyubov I.P., Livshits V.M. Dinamicheskii metod diagnostiki avtotraktornykh dvigateley. Printsip postroyeniya diagnosticheskikh modeley perekhodnykh protsessov. - Novosibirsk: Sib. otd. VASHNIL, 1981. - 86 s.
16. A.s. 267199 SSSR. Sposob opredeleniya germetichnosti nad-porshnevoyego prostranstva v tsilindrakh DVS.
17. Strel'tsov V.V. Uskoreniye prirabotki detaley vo vremya stendovoy obkatki otremonirovannykh dvigateley vnutrennego sgoraniya (na primere ZMZ-53 i ZIL-130): Dis. ... doktora tekhn. nauk. - M., 1993. - 619 s.
18. Garkunov D.N. Tribotekhnika. - M.: Mashinostroyeniye, 1986. - 424 s.
20. Karpenko M.A. Intensifikatsiya protsessov prirabotki dvigateley UMZ primeneniem prisadok v maslo s PAV i HAV: Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. - Penza, 2002. - 18 s.
21. Mikhlin V.M. Prognozirovaniye tekhnicheskogo sostoyaniya mashin. - M.: Kolos, 1976. - 288 s.

Sukhanov Sergey Alekseevich

Krasnodar Trade and Economic College
Address: 350075, Russia, Krasnodar, Stasov str., 177
Teacher E-mail: Passatru1@rambler.ru

Novikov Alexander Nikolaevich

Oryol State University named after I.S. Turgenev
Address: 302026, Russia, Orel, Komsomolskaya str., 95
Doctor of technical sciences
E-mail: novikovan57@gmail.com

Takhtamyshev Khizir Makhmudovich

Nevinnomyssk State Humanitarian and Technical Institute
Address: 357108, Russia, Nevinnomyssk, Mira b-r, 17
Doctor of technical sciences
E-mail: hizirt43@mail.ru

Научная статья

УДК 697.9

doi:10.33979/2073-7432-2023-4-1(83)-39-44

Н.Е. КУРНОСОВ, Н.В. ЩЕРБАКОВ

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ КОНДИЦИОНЕРА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ОБРАЗУЮЩЕГОСЯ КОНДЕНСАТА

Аннотация. В статье рассматривается проблема повышенного энергопотребления автомобильного кондиционера. По поставленной проблеме выполнен информационный и патентный поиск. Предложено техническое решение, основанное на применении испарительного принципа. Определено количество конденсата, образующегося во время работы кондиционера. Проведен расчет по возможной теоретической охлаждающей мощности. Выполнен макет реализации испарительного принципа и проведены экспериментальные исследования.

Ключевые слова: транспортное средство, автомобиль, система кондиционирования, конденсат, испарительный принцип, охлаждающая мощность, распылитель

Введение

Современные транспортные средства (автомобили, поезда, самолёты) оборудованы системой кондиционирования воздуха, необходимой для поддержания оптимальных параметров микроклимата [1]. Среди всех вышеуказанных видов транспорта самым массовым является автомобиль, где обеспечение и поддержание комфортных условий является принципиально важным.

Главное отличие автомобильной системы кондиционирования в том, что для ее работы используется часть мощности, выдаваемая двигателем [2]. Компрессор подключается к выходному валу двигателя посредством ременной передачи, тем самым забирая часть мощности двигателя, что приводит к увеличению расхода топлива даже на холостом ходу.

Существуют другие способы получения холода. Например, применение для привода компрессора автомобильного кондиционера отдельного электрический мотор (двигателя), работающий не от коленчатого вала, а от энергии, вырабатываемой генератором автомобиля. Недостатком данного решения является повышенная нагрузка на генератор, что также приводит к повышенному расходу топлива [10].

Материал и методы

Предлагается использование элементов Пельтье для охлаждения и нагрева воздуха, поступающий в пассажирский салон [11]. Недостатком является внесение значительных изменений в конструкцию обычного кондиционера, который охлаждает воздух, направляемый в пассажирский салон с помощью охлаждающего устройства, и нагревает воздух, используя тепло двигателя внутреннего сгорания.

Существует одно немаловажное обстоятельство использования кондиционера в ТС – это расход топлива, для обеспечения его работы [3]. Согласно распоряжению Министерства транспорта Российской Федерации № АМ-23-р от 14.03.2008 г., нормы расхода топлив повышаются при использовании кондиционера при движении автомобиля – до 7 %, а при использовании кондиционера на стоянке нормативный расход топлива устанавливается из расчета за один час простоя с работающим двигателем, то же на стоянке при использовании установки «климат-контроль» (независимо от времени года) за один час простоя с работающим двигателем – до 10 % от базовой нормы.

Основными потребителями энергии являются вентилятор испарителя, вентилятор радиатора кондиционера и компрессор [4]. При этом потребляемая мощность на легковом автомобиле может достигать 5-6 кВт, а на грузовом 8-10 кВт.

Энергопотребление кондиционера существенным образом сказывается на работе двигателя [5]. Это особенно заметно на автомобилях с малым объемом двигателя. При включении компрессора кондиционера, повышается нагрузка на двигатель, мощность перераспределяется и приемистость двигателя снижается и автомобиль становится менее динамичным.

© Н.Е. Курносков, Н.В. Щербаков, 2023

В результате работы, автомобильный кондиционер образует конденсат. Количество конденсата составляет от 0,5 до 0,8 л/час на 1 кВт потребляемой мощности [16].

Неоднократно предпринимались попытки использования конденсата для повышения эффективности работы кондиционера.

Техническим решением, способствующим снижению энергопотребления [6, 7] системы кондиционирования, является использование конденсирующейся воды для предварительного охлаждения. Система является саморегулирующейся. Если влажность воздуха равна 30-55 %, то образование конденсата не происходит, соответственно, холодопроизводительность затрачивается только на охлаждение воздуха. Если влажность воздуха составляет 70-85 %, то образуется конденсат, на который тратится значительное количество холодопроизводительности. Для улучшения работы системы кондиционирования воздуха применяются следующие варианты: использование конденсирующейся воды для переохлаждения хладагента и использование конденсирующейся воды для предварительного охлаждения воздуха.

Кондиционер косвенно-испарительного типа обладает расширенными возможностями [8]. Энергопотребление определяется только используемыми вентиляторами и при холодопроизводительности в 20 кВт обычно не превышает 3-5 кВт. Значительно более эффективными оказываются все же комбинированные системы кондиционирования, содержащие в своем составе одновременно испарительный и компрессионный охлаждающие блоки.

Увлажнитель косвенно-испарительного кондиционера потребляет воду. Источником воды служит пароконденсационная холодильная машина, так как в ней образуется конденсат, выделяющийся из охлаждаемого воздуха. Поэтому дополнительный расход воды может оказаться незначительным.

В жаркие дни такой кондиционер способен обеспечить холодопроизводительность до 28 кВт, используя при этом до 75 % рециркуляционного воздуха и потребляя электроэнергию до 20 кВт. Системы кондиционирования воздуха косвенно испарительного охлаждения в жаркие дни удовлетворительно работают только при влажности не выше 40 %, потребляя при этом электроэнергию не более 3-5 кВт.

Часть указанных технических решений направлено на косвенное охлаждение элементов самого кондиционера. Предпринимались попытки реализации для повышения энергоэффективности кондиционера с использованием конденсата для реализации испарительного принципа с целью получения холодного потока воздуха.

Были попытки использования только испарительного принципа. Например, НТЦ АвтоВАЗ предложил климатизер «Кондикар», работающий на принципе испарения воды [9]. Главным его преимуществом является простота, низкая стоимость по сравнению с фреоновым кондиционером и легкость монтажа. В результате лабораторных испытаний выяснилось, что данный климатизер только лишь повышал влажность воздуха, без его охлаждения в салоне автомобиля, штатная вытяжка не справлялась с удалением влаги.

Техническое решение №2179285 [12] позволяет охлаждать, очищать, увлажнять и ароматизировать воздух, как стандартный автомобильный кондиционер. Недостатками является сложность конструкции, большие габариты и аэродинамическое сопротивление, увеличивающее энергопотребление, а также незначительный эффект снижения температуры приточного воздуха.

Теория

Задача, решаемая изобретением №20100161244 [13], заключается в создании компактной климатической установки с простым и удобным управлением, надежной в работе, обеспечивающей оптимальный температурный режим в кабине транспортного средства, в частности, в кабине трактора. Недостатком является крупные габариты, которые не позволяют эксплуатировать данное решение в легковых автомобилях.

В полезной модели №212737644 [14] охлаждение осуществляется посредством испарения жидкости. Техническое решение раскрывает автомобильное охлаждающее устройство, которое содержит кабину, кузов автомобиля, шасси и шины, прямооточный испарительный охладитель закреплен под шасси, прямой испарительный охладитель соединен трубопроводом по-

дачи воздуха с устройством подачи воздуха, а устройство подачи воздуха расположено в кабине и над шинами. Недостатком являются крупные габариты и сложность конструкции.

Предлагается техническое решение, основанное на использовании для кондиционирования вихревой трубы Ранка-Хилша и добавлением испарительного блока на основе распылителя [15]. Данное техническое решение в части испарительного блока возможно использовать для повышения энергоэффективности компрессионных систем кондиционирования.

Для определения теоретического предела возможной охлаждающей мощности кондиционера, использующего испарительный принцип, используем диаграмму Рамзина (i-d диаграмма) [7].

Оценка производится для следующих условий: начальная температура воздуха 28° С при относительной влажности 50 % (точка 1). Предполагаем, что воздух охлаждается до точки росы соответствующей относительной влажности 100%, абсолютная влажность остается неизменной 12 г/кг (точка 2). Этому процессу соответствует отрезок вертикальной прямой 1 – 2 (рис. 1).

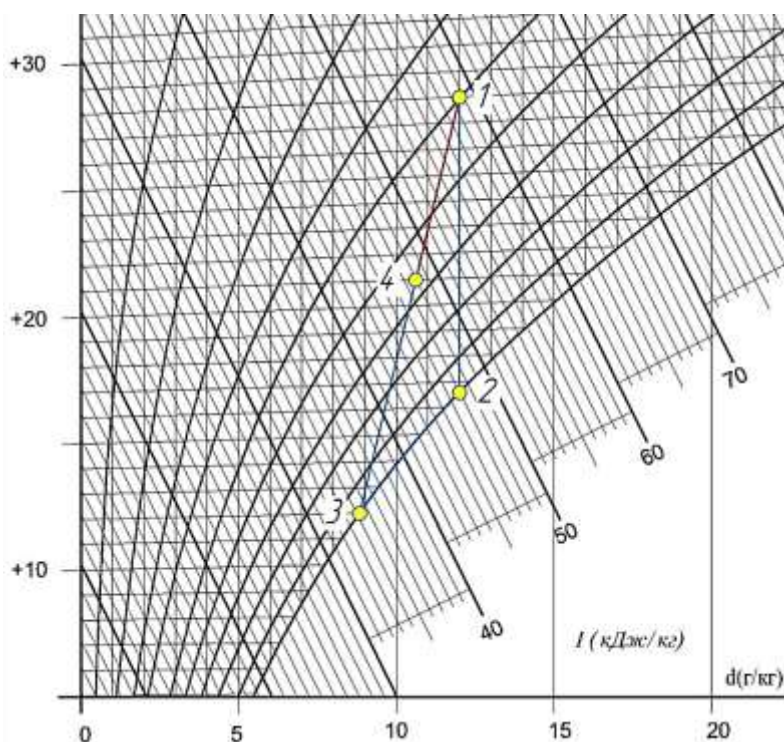


Рисунок 1 – i-d диаграмма Рамзина

Далее будет происходить образование конденсата (по линии 2-3). Абсолютная влажность в данном случае уменьшится до 8 г/кг. В результате этого процесса из каждого килограмма воздуха конденсируется 4 грамма конденсата.

$$\Delta d = d_1 - d_3 = 11,99 - 10,61 = 1,38 \text{ г/кг.}$$

Полученный конденсат переводится в мелкодисперсное состояние, и полученная смесь смешивается с равным количеством исходного воздуха. Процесс смешения изображается отрезком прямой соединяющей точки на диаграмме 3 и 1. Если будут смешиваться равные количества, то образовавшейся смеси будет соответствовать точка 4 равноудаленная от точек 3 и 1. Получается смесь с параметрами: температура 21° С и относительной влажностью 70 %, а абсолютная влажность будет равна среднему арифметическому из d_1 и d_3 . В этом процессе для охлаждения была использована теплота парообразования половины образовавшегося конденсата. Таким образом из каждого килограмма воздуха образуется 4 грамма конденсата в кондиционере, 2 из которых (при равных потоках смешения), а это будет соответствовать теплоте и можно использовать для реализации процесса кондиционирования, то есть дополнительно охлаждать воздух в рабочем пространстве салона автомобиля. Эффект охлаждения получается за счет испарения образовавшихся капелек тумана.

Расход конденсата определяется по количеству проходящего через теплообменник воздуха. К примеру, если необходимо охладить $300 \text{ м}^3/\text{ч}$ воздуха с температуры 28°C и относительной влажностью 50 % до температуры 21°C , то необходимо перевести $300 \text{ м}^3/\text{ч}$ в $375 \text{ кг}/\text{ч}$ и получается, что за час обработки воздуха выделяется 375 грамм конденсата, что равно $0,104 \text{ кг}/\text{с}$.

Охлаждающая мощность определяется следующим образом. Находим на диаграмме энтальпию начальной точки, которая равна $47,773 \text{ кДж}/\text{кг}$. Из нее вычитаем энтальпию конечной точки, равной $58,645 \text{ кДж}/\text{кг}$. Получаем отрицательное число $10,872 \text{ кДж}/\text{кг}$ (минус указывает на то, что энергия отдается хладагенту). Умножая расход конденсата на полученную энтальпию, получаем охлаждающую мощность, равную $1,13 \text{ кВт}$.

Испаряя $0,104$ килограмм конденсата в секунду мы получим $1,13 \text{ кВт}$ охлаждающей мощности.

Для проверки вышесказанного, были проведены экспериментальные исследования. Для определения возможной охлаждающей мощности и, соответственно, снижение энергопотребления применяя конденсат, подготовлен лабораторный стенд реализации испарительного принципа (рис. 3), состоящий из следующего оборудования: пневматический распылитель жидкости 1 [17], который включает в себя: вихревую камеру 38 предпочтительно конической формы, патрубок 39 тангенциального подвода воздуха, расположенный в верхней части вихревой камеры 38, средство 40 закручивания потока подаваемого воздуха, патрубок 41 подачи жидкости, расположенный по центру вихревой камеры в нижней ее части, выполненный в боковой стенке вихревой камеры 38 сопловой канал 42 для подачи распыленного воздушно-жидкостного факела в передаточный патрубок 17, соединяющий вихревой распылитель 6 с вихревым увлажнителем 7, и расположенные в верхней части вихревой камеры 38 патрубок 43 вывода отработанного воздуха и регулятор 44 расхода отработанного воздуха (рис. 2).

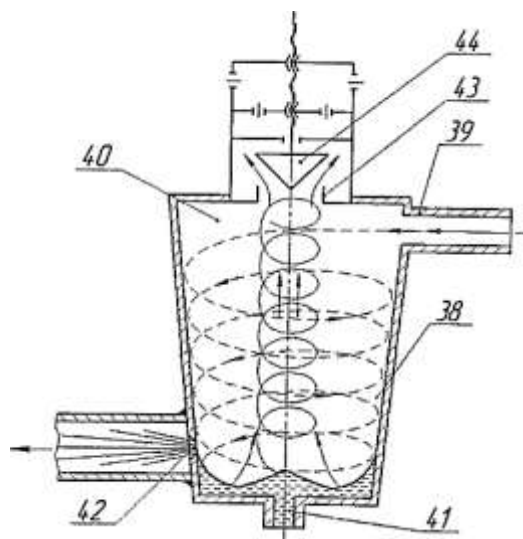


Рисунок 2 – Вихревой распылитель

Распылитель 1 установлен в верхнюю часть цилиндрического корпуса макета 2 и направлен распыляющим соплом к центру внутренней части; компрессор 3 для подачи сжатого воздуха в распылитель; магистраль подачи сжатого воздуха 4; магистраль эжекции жидкости 5; вытяжной вентилятор 6, служащий для нагнетания воздуха в цилиндрический корпус макета. Для отображения и сохранения параметров эксперимента лабораторный стенд оснащен ЭВМ 7 и блоком индикации и управления 8.

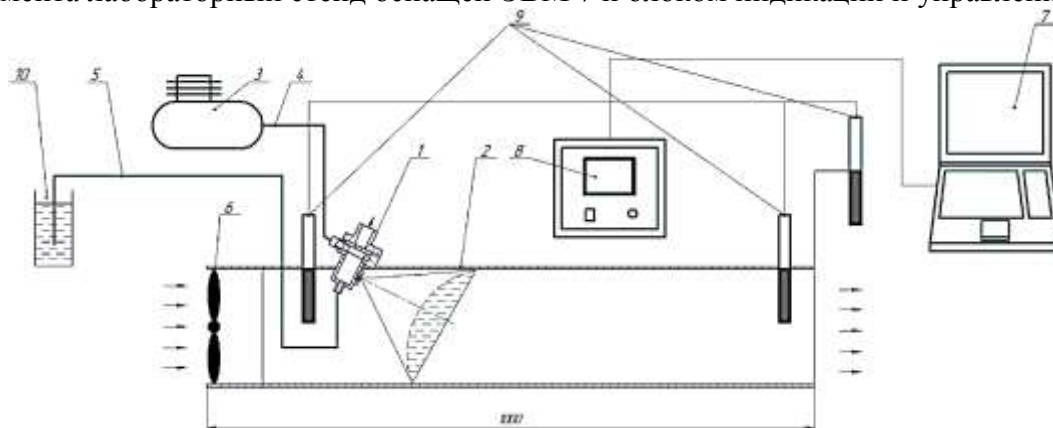


Рисунок 3 – Схема стенда реализации испарительного принципа

Результаты и обсуждение

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что максимально эффективно процесс испарения происходит при расходе распыляемой жидкости $Q_{\text{ж}} = 24$ мл/мин и подаче воздуха $Q_{\text{в}} = 280$ м³/ч. В данном режиме работы перепад температур достигает $\Delta t = 5$ °С.

Немаловажным моментом является использование предлагаемого испарительного принципа для различных объемов охлаждаемого пространства, в случае автомобилей, кабины или салона. При этом для различных объемов кабины предлагается линейка устройств (табл. 1), характерной особенностью которых является возможность получения мелкой дисперсии независимо от диаметра дюзы и рабочего диаметра распыляемых устройств.

Таблица 1 – Характеристики диспергаторов-распылителей

Характеристики распылителей-диспергаторов	Марки диспергаторов-распылителей			
	BP-10	BP-13	BP-16	BP-20
Давление сжатого воздуха, МПа	0,02-0,2	0,02-0,2	0,02-0,2	0,02-0,2
Расход сжатого воздуха, м ³ /ч	3-6	6-10	10-15	16-21
Максимальный расход материала, г/мин	70	100	200	400
Минимальный расход	определяется в конкретном процессе обработки			
Диаметр дюзы, мм	1,5	2	4	5
Габаритные размеры, мм	40*30*25	45*30*25	55*33*28	63*47*32

Выводы

Определено количество конденсата, образующегося в результате работы кондиционера. Исходя из этого, проведен расчет для определения теоретического предела возможной охлаждающей мощности. На основании расчета, выполнен стенд реализации испарительного принципа, на котором проведены экспериментальные исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кокорин О.Я. Современные системы кондиционирования воздуха. - М: Физматлит, 2003. - 350 с.
2. Верба Н.С. Система кондиционирования воздуха в автомобиле [Электронный ресурс] // Молодой ученый. - 2018. - №49(235). - С. 25-27. – Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/235/54660/>.
3. О введении в действие методических рекомендаций «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте»: Распоряжение от 14.03.2008 г.
4. Щербатов Н.В., Викторов М.С., Курносов Н.Е. О возможности создания микроклимата в кабине транспортных средств // Инновации технических решений в машиностроении и транспорте: Сборник статей VI Всероссийской научно-технической конференции для молодых ученых и студентов с международным участием. – Пенза: РИО ПГАУ. - 2020. – 215 с.
5. Буракова Л.Н. Экспериментальные исследования влияния факторов на изменения расхода топлива при работе климатической системы автомобиля [Электронный ресурс] / Вестник СибАДИ. - 2013. - №6(34). - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnye-issledovaniya-vliyaniya-faktorov-na-izmeneniya-rashoda-topliva-pri-rabote-klimaticheskoy-sistemy-avtomobilya>
6. Новосельцев И.А., Глухов С.Д., Штейн А.С., Михушкин В.Н. Возможности современных систем кондиционирования воздуха [Электронный ресурс] / Инженерный журнал: наука и инновации. - 2013. - №1(13). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-sovremennyh-sistem-konditsionirovaniya-vozduha>
7. Гаранов С.А., Муха М.С. Энергосберегающие решения для систем кондиционирования воздуха пассажирского вагона [Электронный ресурс] / Инновации и инвестиции. - 2020. - №5. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/energoberegayushchie-resheniya-dlya-sistem-konditsionirovaniya-vozduha>
8. Емельянов А.Л., Антипов А.С., Буравой С.Е., Платунов Е.С. Транспортная комбинированная испарительно-компрессорная система кондиционирования воздуха [Электронный ресурс] / Холодильная техника и кондиционирование. - 2007. - №1. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/transportnaya-kombinirovannaya-ispavitelno-kompressionnaya-sistema-konditsionirovaniya-vozduha-1>.
9. С ПРОХЛАДЦЕЙ Комфорт [Электронный ресурс] / За рулем. – 2002. – №7. – С. 160-162 – Режим доступа: <https://www.zr.ru/archive/zr/2002/07>.
10. Полезная модель № 141905, МПК В60Н 1/00 (2006.01). Автомобильный кондиционер с электроприводом.
11. Пат. №2555567, МПК В60Н 1/03 (2006.01). Автомобильный кондиционер.
12. Пат. №2179285, МПК F24F 3/14. Устройство для испарительного охлаждения воздуха.
13. Пат. №2011/0179814, МПК F25B 39/02 (2006.01). Испарительный охладитель с системой погружных насосов.
14. Пат. №212737644, МПК В60С 23/18 (2006.01), В60С 23/19 (2006.01), В60Н 1/32 (2006.01). Устройство для охлаждения автомобиля.
15. Пат. №2579722. МПК F24F 5/00 (2006.01). Кондиционер.
16. Победим ли дренаж? – УКЦ [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://hvac-school.ru/biblioteka/montazhniki_materiali_zhurnala/ukazaniya_montazhu_remontu/pobedim_drenazh/.
17. Пат. №2013009206, МПК В05В 7/10 (2006.01). Способ распыления жидкости и устройство для его осуществления.

Курносков Николай Ефимович

Пензенский Государственный Университет
Адрес: Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40, корп. 1
Д.т.н., профессор, профессор-консультант
E-mail: kurnosov-ne@mail.ru

Щербаков Никита Викторович

Пензенский Государственный Университет
Адрес: Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40, корп. 1
Студент
E-mail: s3rbov@yandex.ru

N.E. KURNOSOV, N.V. SHCHERBAKOV

IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF VEHICLE AIR CONDITIONING BY USING THE RESULTING CONDENSATE

Abstract. The article deals with the problem of increased energy consumption of an automobile air conditioner. An information and patent search, was carried out on the problem posed. A technical solution based on the application of the evaporative principle is proposed. The amount of condensate formed during the operation of the air conditioner is determined. The calculation of the possible theoretical cooling capacity is carried out. A mock-up of the implementation of the evaporative principle was made and experimental studies were carried out.

Keywords: vehicle, car, air conditioning system, condensate, evaporative principle, cooling power, sprayer

BIBLIOGRAPHY

1. Kokorin O.Ya. Sovremennyye sistemy konditsionirovaniya vozdukh. - M: Fizmatlit, 2003. - 350 s.
2. Verba N.S. Sistema konditsionirovaniya vozdukh v avtomobile [Elektronnyy resurs] // Molodoy uchenyy. - 2018. - №49(235). - S. 25-27. - Rezhim dostupa: <https://moluch.ru/archive/235/54660/>.
3. O vvedenii v deystvie metodicheskikh rekomendatsiy «Normy raskhoda topliv i smazochnykh materialov na avtomobil'nom transporte»: Rasporyazhenie ot 14.03.2008 g.
4. Shcherbakov N.V., Viktorov M.S., Kurnosov N.E. O vozmozhnosti sozdaniya mikroklimata v kabine transportnykh sredstv // Innovatsii tekhnicheskikh resheniy v mashinostroenii i transporte: Sbornik statey VI Vse-rossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii dlya molodykh uchenykh i studentov s mezhdunarodnym uchastiem. - Penza: RIO PGAU. - 2020. - 215 s.
5. Burakova L.N. Eksperimental'nye issledovaniya vliyaniya faktorov na izmeneniya raskhoda topliva pri rabote klimacheskoy sistemy avtomobilya [Elektronnyy resurs] / Vestnik SibADI. - 2013. - №6 (34). - Rezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnye-issledovaniya-vliyaniya-faktorov-na-izmeneniya-raskhoda-topliva-pri-rabote-klimacheskoy-sistemy-avtomobilya>
6. Novosel'tsev I.A., Glukhov S.D., Shteyn A.S., Mikhushkin V.N. Vozmozhnosti sovremennykh sistem konditsionirovaniya vozdukh [Elektronnyy resurs] / Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii. - 2013. - №1(13). - Rezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-sovremennykh-sistem-konditsionirovaniya-vozduha>
7. Garanov S.A., Mukha M.S. Energoberegayushchie resheniya dlya sistem konditsionirovaniya vozdukh pas-sazhirskogo vagona [Elektronnyy resurs] / Innovatsii i investitsii. - 2020. - №5. - Rezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/article/n/energoberegayushchie-resheniya-dlya-sistem-konditsionirovaniya-vozduha>
8. Emel'yanov A.L., Antipov A.S., Buravoy S.E., Platonov E.S. Transportnaya kombinirovannaya isparitel'no-kompressionnaya sistema konditsionirovaniya vozdukh [Elektronnyy resurs] / Holodil'naya tekhnika i konditsionirovanie. - 2007. - №1. - Rezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/article/n/transportnaya-kombinirovannaya-isparitelno-kompressionnaya-sistema-konditsionirovaniya-vozduha-1>.
9. S PROHLADTSEY Komfort [Elektronnyy resurs] / Za rulem. - 2002. - №7. - S. 160-162 - Rezhim dostupa: <https://www.zr.ru/archive/zr/2002/07>.
10. Poleznaya model' № 141905, MPK B60H 1/00 (2006.01). Avtomobil'nyy konditsioner s elektropri-vodom.
11. Pat. №2555567, MPK B60H 1/03 (2006.01). Avtomobil'nyy konditsioner.
12. Pat. №2179285, MPK F24F 3/14. Ustroystvo dlya isparitel' nogo okhlazhdeniya vozdukh
13. Pat. №2011/0179814, MPK F25B 39/02 (2006.01). Isparitel'nyy okhladitel' s sistemoy pogruzhnykh nasosov.
14. Pat. №212737644, MPK B60C 23/18 (2006.01), B60C 23/19 (2006.01), B60H 1/32 (2006.01). Ustroystvo dlya okhlazhdeniya avtomobilya.
15. Pat. №2579722. MPK F24F 5/00 (2006.01). Konditsioner.
16. Pobedim li drenazh? - UKTS [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: https://hvac-school.ru/biblioteka/montazhniki_materiali_zhurnala/ukazaniya_montazhu_remontu/pobedim_drenazh/.
17. Pat. №2013009206, MPK B05B 7/10 (2006.01). Sposob raspyleniya zhidkosti i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya.

Kurnosov Nikolay Efimovich

Penza State University
Address: Russia, Penza, Krasnaya str., 40, building 1
Doctor of technical sciences
E-mail: kurnosov-ne@mail.ru

Shcherbakov Nikita Viktorovich

Penza State University
Address: Russia, Penza, Krasnaya str., 40, building 1
Student
E-mail: s3rbov@yandex.ru

Научная статья

УДК 656.138

doi:10.33979/2073-7432-2023-4-1(83)-45-50

Д.О. ЛОМАКИН, В.А. КРАВЧЕНКО, А.В. СИМУШКИН

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА РОБОТИЗИРОВАННЫХ КОРОБОК ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ПЕРЕДАЧ

Аннотация. В статье описана технология ремонта гидравлической части мехатроники роботизированной коробки переключения передач DSG-7 DQ200.

Ключевые слова: DQ200, мехатроник, ремонт

Введение

Улучшение эксплуатационных качеств современного автомобиля привело к значительному усложнению его конструкции. Оснащение автомобилей роботизированной трансмиссией позволило резко снизить объем нагрузки, возлагаемой на водителя во время движения, что также благоприятно отразилось на ходовой части, двигателе и скоростных качествах автомобиля. Надежность и простота эксплуатации определили дальнейшее широкое использование этого изобретения. В настоящее время роботизированные трансмиссии применяются и на легковых, и на полноприводных автомобилях. Основной причиной преждевременного выхода из строя роботизированных трансмиссий является несвоевременное и неправильное техническое обслуживание этого агрегата, что требует квалифицированного ремонта.

Роботизированная коробка переключения передач (РКПП) так же удобна, как и автоматическая коробка переключения передач (АКПП). Но она совмещает качество и экономию механической коробки. Но РКПП имеет меньшую стоимость, чем АКПП. По этой причине множество современных производителей автомобилей снабжают свои автомобили именно РКПП.

Главным отличием РКПП от обыкновенной механической коробки переключения скоростей можно считать наличие актуатора (исполнительного устройства), которое при помощи сервоприводов, управляет работой сцепления. В свою очередь электронный блок контролирует актуатор.

Материал и методы

DSG-7 DQ200 (рис. 1) – преселективная 7-ти ступенчатая РКПП с двумя дисками сцепления производства автоконcernа Volkswagen group. Это единственная коробка из линейки DSG и S-tronic, в которой было использовано многодисковое «сухое» сцепление – отсутствует масляная ванна для дисков сцепления, что делает данную коробку более дешевой и недорогой в обслуживании, но имеет и свои недостатки, в виде не слишком надежного мехатроника и перегревов [1]. Данная РКПП устанавливается на автомобили с передним приводом и двигателями малой и средней мощности Skoda, Audi, Volkswagen и другие.

Коробка имеет 7 ступеней для движения автомобиля вперед и одну реверсивную (рис. 2). Устанавливается коробка на автомобили с передним приводом. Максимально допустимое значение крутящего момента достигает отметки в 250 Н·м.

Управление РКПП осуществляется с помощью электромоторов. Передачи переключает мехатроник с посредством двух вилок [2]. В мехатронике должно находиться масло (около 900 грамм). Передача крутящего момента осуществляется так же, как и в механической коробке – с помощью шестерней. В данной коробке это достаточно надежный узел, гораздо чаще выходит из строя мехатроник или требуют замены диски сцепления.

В 2014 году РКПП DQ200 подверглась модернизации (версия 0CW), после чего в DQ-200 практически исчезла одна из главных проблем – ненадежность платы управления мехатроника [3].

Отличие DSG-7 от DSG-6 главным образом состоит в разных максимальных крутящих моментах (у DSG-6 он гораздо выше), из-за чего DSG-6 нецелесообразно ставить на автомобили с малым рабочим объемом и невысокой мощностью (до 150 л.с.).

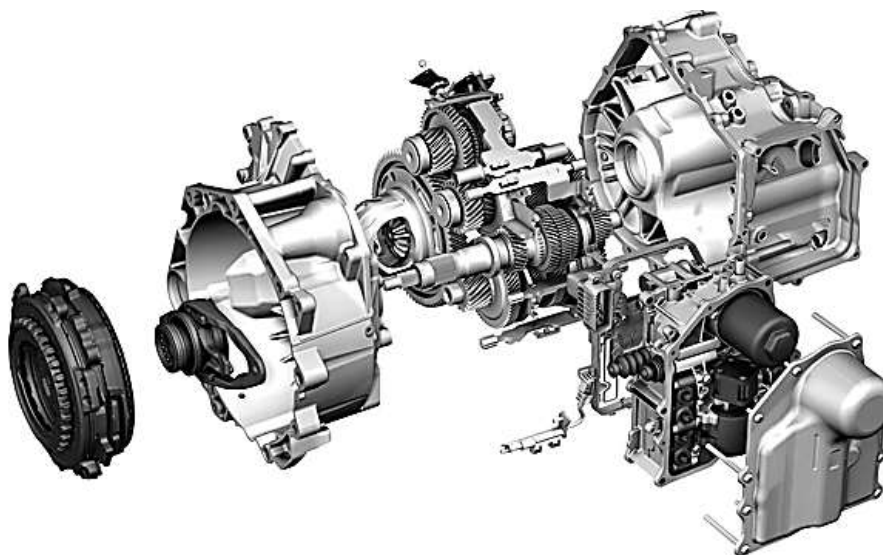


Рисунок 1 – Конструкция DSG-7 DQ-200



Рисунок 2 – DSG-7 DQ-200 в разобранном состоянии

Вся система управляется мехатроником (Mechatronic). Именно он определяет момент переключения передач. Мехатроник состоит из:

- входных датчиков, фиксирующих положение вилок переключения передач, скорость вращения валов, показания давления и температуры масла, степень открытия дроссельной заслонки и т.д.;
- электронной платы управления;
- электрогидравлического блока, который представляет собой комплекс исполнительных механизмов. В него входят золотники-распределители, электромагнитные клапаны, клапаны регулировки давления масла, мультиплексор [4].

Конструкция РКПП DQ-200 имеет некоторые технические решения, которые понижают её надёжность в угоду цене, в частности, исправленная в версии 0CW плата управления мехатроника и перегрев. Некоторые отмечают очень быстрый износ сцепления и подшипников. Часто это бывает из-за недостаточного уровня масла. До 2016 года рекомендуе-

мый производителем объём масла в коробке был 1,7 литра, после увеличили до 2-х литров.

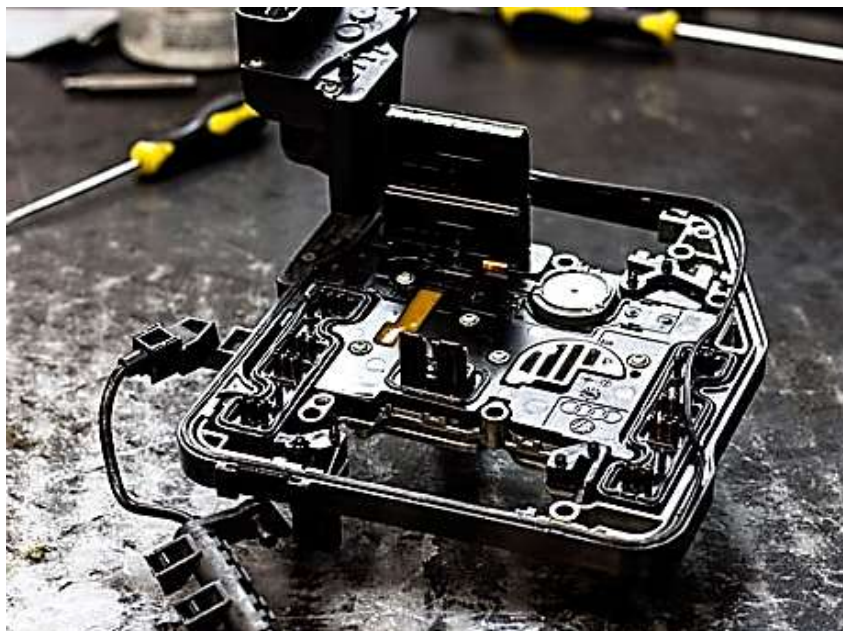


Рисунок 3 – Электронная плата управления мехатроником

Насос мехатроника позволяет набрать значительное давление масла. Однако грязное масло при внезапном скачке давления попросту прорвёт корпус гидроблока – тот сделан из алюминия [5].

Потрескавшиеся детали зачастую обнаруживаются в районе установки гидроаккумулятора (рис. 4) – о чём и предупреждает ЭБУ, выводя диагностическую индикацию или даже сообщение с ошибкой P17BF - Hydraulic Pump: Play Protection [6-8].



Рисунок 4 – Гидравлическая часть мехатроники

Появление трещин, или разрушения конструкции гидравлической части мехатроника в районе крепления гидроаккумулятора к гидроблоку приводит к падению давления масла в гидроаккумуляторе. Чтобы устранить эту ошибку, требуется сменить корпус гидроблока. В статье предлагается снизить стоимость ремонта и использовать специальные вставки, которые, по заверению разработчиков, позволяют полностью восстановить работоспособность узла [9].



Рисунок 5 – Ремкомплект



Рисунок 6 – Установка ремкомплекта

Теория

Предлагается усовершенствовать технологию ремонта корпусов гидроблоков в случае трещины или разрушения резьбовой части установочной ниши гидроаккумулятора. Использование специальных ремонтных вставок позволит снизить стоимость ремонта РКПП [10-14].

Такой ремкомплект (рис. 5) позволяет провести ремонт корпуса гидроблока в РКПП серии DSG 7 DQ200, и полностью решает проблему, связанную с утечкой давления в мехатронике [15, 16].

Преимущества данного способа ремонта: быстрая, простая и надежная установка; на некоторых типах двигателей возможен ремонт без снятия коробки; ремкомплект позволяет восстановить работоспособность гидроблока с разрушенным резьбовым креплением гидроаккумулятора.

Гидроаккумулятор крепится к поврежденному гидроблоку и полностью восстанавливает гидравлическую систему мехатроники (рис. 6).

Результаты и обсуждение

С помощью предлагаемой технологии был произведен ремонт РКПП автомобиля Audi A3 с поврежденной гидравлической частью мехатроники – трещина корпуса в месте установки гидроаккумулятора. В результате установки ремкомплекта предлагаемой конструкции, проблема была полностью устранена [17].

Выводы

Ввиду распространенности РКПП DSG 7 DQ200, а также многочисленных неисправностях при неправильной эксплуатации, можно сделать вывод о перспективном спросе на услуги по ремонту РКПП

DQ200 по предложенной технологии. Кроме того, в современных условиях труднодоступности оригинальных запасных частей и их высокой стоимости, предлагаемая технология ремонта является привлекательной с экономической точки зрения [18-20].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Техника транспорта, обслуживание и ремонт: учебное пособие [Электронный ресурс] / А.М. Асхабов, И.М. Блянкинштейн, Е.С. Воеводин и др. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2018. - 128 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/84162.html>.
2. Техническая эксплуатация и ремонт автомобильного транспорта: Учебное пособие / А.С. Бодров и др. – Орел: ОГУ имени И.С.Тургенева, 2021. – 306 с.
3. Ломакин Д.О., Васильева В.В. Основы конструкции автомобиля: Учебное пособие. – Орел: ОГУ имени И.С.Тургенева, 2023. – 154 с.
4. Тебекин М.Д., Родичев А.Ю., Токмакова М.А., Родичева И.В. Анализ способов безразборной диагностики механических коробок передач легковых автомобилей // Мир транспорта и технологических машин. – Орел: Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева. – 2022. - №1(76). – С. 3-10.

5. Эксплуатация автомобильного транспорта: учебное пособие [Электронный ресурс] / Н.Н. Якунин, Н.В. Якунина, Д.А. Дрючин и др. - Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2017. - 221 с. - Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/71352.html>
6. Макаренко П.А., Шкондин Д.М. Особенности роботизированной коробки переключения передач DSG // Проблемы и перспективы развития России: молодежный взгляд в будущее: Сборник научных статей 5-й Всероссийской научной конференции. - В 4 т. - Т. 4. - Курск: ЮЗГУ. - 2022 - С. 225-228.
7. Гринченко В.С., Шаповал В.В., Дудинских В.А., Тимченко Д.А. Устройство и работа роботизированных коробок передач // Научные исследования молодых учёных: Сборник статей X Международной научно-практической конференции. - Пенза: Наука и Просвещение. - 2021. - С. 53-55.
8. Черников В.А., Соломников С.В., Тертерашвили Д.Г., Черникова В.В. Перспективы использования автоматических коробок передач // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе: Материалы международной научно-практической конференции. - Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I. - 2020. - С. 150-155.
9. Шатунов А.С. Совершенствование системы управления роботизированной коробки передач (РКПП) автомобиля SKODA // Современное образование: технологии, методика, наука: Материалы Всероссийской научно-методической конференции в честь 65-летия кафедры математики ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет». - Уфа. - 2018. - С. 90-93.
10. Ремкомплект DSG 7.02 для ремонта мехатроники DSG 7 DQ200 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://kinergo.ru/produkcija/oborudovanie-kinergo/komplekt-dlya-remonta-dsg-7-02>.
11. Федотов А.И. Диагностика автомобиля : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов». - Иркутск: Иркутский гос. технический ун-т., 2012. - 476 с.
12. D'Elia G., Mucchi E., Cocconcelli M. On the identification of the angular position of gears for the diagnostics of planetary gearboxes // Mechanical systems and signal processing. - V. 83. - 2017. - P. 305-320.
13. Schmidt S., Heyns P.S., J.P. de Villiers A novelty detection diagnostic methodology for gearboxes operating under fluctuating operating conditions using probabilistic techniques // Mechanical systems and signal processing. - V.100. - 2018. - P. 152-166.
14. Weiguo Huang. Multi-source fidelity sparse representation via convex optimization for gearbox compound fault diagnosis // Journal of Sound and vibration. - V. 496. - 2021. - P. 115879.
15. Foulard S., Ichchou M., Rinderknecht S., Perret-Liaudet J. Online and real-time monitoring system for remaining service life estimation of automotive transmissions – application to a manual transmission // Mechatronics. - V. 30. - 2015. - P. 140-157.
16. Chuan Li. Gearbox fault diagnosis based on deep random forest fusion of acoustic and vibratory signals // Mechanical systems and signal processing. - V. 76-77. - 2016. - P. 283-293.
17. Liu Hong, Jaspreet Singh, Dhupia. A time domain approach to diagnose gearbox fault based on measured vibration signals // Journal of Sound and vibration. - V. 333. - 2014. - P. 2164-2180.
18. Gaigai Cai, Xuefeng Chen, Zhengjia He. Sparsity-enabled signal decomposition using tunable Q-factor wavelet transform for fault feature extraction of gearbox // Mechanical systems and signal processing. - V. 41. - 2013. - P. 34-53.
19. Binqiang Chen. Fault feature extraction of gearbox by using overcomplete rational dilation discrete wavelet transform on signals measured from vibration sensors // Mechanical systems and signal processing. - V. 33. - 2012. - P. 275-298.
20. Yaguo Lei, Dong Han, Jing Lin, Zhengjia He. Planetary gearbox fault diagnosis using an adaptive stochastic resonance method // Mechanical systems and signal processing. - V. 38. - 2013. - P. 113-124.

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

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

Кравченко Валерий Анатольевич
Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева
Адрес: 302026, Россия, г. Орел, ул. Московская, д. 77
К.т.н., доцент кафедры подъемно-транспортных,
строительных и дорожных машин
E-mail: 19vak52@mail.ru

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

IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGY OF REPAIR OF ROBOTIC GEARBOXES

Abstract. The article describes the technology of repairing the hydraulic part of the mechatronics of the DSG-7 DQ200 robotic gearshift.

Keywords: DQ200, mechatronics, repair

BIBLIOGRAPHY

1. Tekhnika transporta, obsluzhivanie i remont: uchebnoe posobie [Elektronnyy resurs] / A.M. Askhabov, I.M. Blyankinshteyn, E.S. Voevodin i dr. - Krasnoyarsk: Sibirskiy federal'nyy universitet, 2018. - 128 c. - Rezhim dostupa: <http://www.iprbookshop.ru/84162.html>.
2. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya i remont avtomobil'nogo transporta: Uchebnoe posobie / A.S. Bodrov i dr. - Orel: OGU imeni I.S.Turgeneva, 2021. - 306 s.
3. Lomakin D.O., Vasil'eva V.V. Osnovy konstruktssii avtomobilya: Uchebnoe posobie. - Orel: OGU imeni I.S.Turgeneva, 2023. - 154 s.
4. Tebekin M.D., Rodichev A.Yu., Tokmakova M.A., Rodicheva I.V. Analiz sposobov bezrazbornoy diagnostiki mekhanicheskikh korobok peredach legkovykh avtomobiley // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - Orel: Orlovskiy gosudarstvennyy universitet imeni I.S. Turgeneva. - 2022. - №1(76). - S. 3-10.
5. Ekspluatatsiya avtomobil'nogo transporta: uchebnoe posobie [Elektronnyy resurs] / N.N. Yakunin, N.V. Yakunina, D.A. Dryuchin i dr. - Orenburg: Orenburgskiy gosudarstvennyy universitet, EBS ASV, 2017. - 221 c. - Rezhim dostupa: <http://www.iprbookshop.ru/71352.html>
6. Makarenko P.A., Shkondin D.M. Osobennosti robotizirovannoy korobki pereklyucheniya peredach DSG // Problemy i perspektivy razvitiya Rossii: molodezhnyy vzglyad v budushchee: Sbornik nauchnykh statey 5-y Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii. - V 4 t. - T. 4. - Kursk: YUZGU. - 2022 - S. 225-228.
7. Grinchenko V.S., Shapoval V.V., Dudinskikh V.A., Timchenko D.A. Ustroystvo i rabota robotizirovannykh korobok peredach // Nauchnye issledovaniya molodykh uchionykh: Sbornik statey X Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Penza: Nauka i Prosveshchenie. - 2021. - S. 53-55.
8. Chernikov V.A., Solomnikov S.V., Terterashvili D.G., Chernikova V.V. Perspektivy ispol'zovaniya avtomaticheskikh korobok peredach // Energoeffektivnost' i energosberezhenie v sovremennom proizvodstve i obshchestve: Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Voronezh: Voronezhskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet im. Imperatora Petra I. - 2020. - S. 150-155.
9. Shatunov A.S. Sovershenstvovanie sistemy upravleniya robotizirovannoy korobki peredach (RKPP) avtomobilya SKODA // Sovremennoe obrazovanie: tekhnologii, metodika, nauka: Materialy Vserossiyskoy nauchno-metodicheskoy konferentsii v chest' 65-letiya kafedry matematiki FGBOU VO «Bashkirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet». - Ufa. - 2018. - S. 90-93.
10. Remkomplekt DSG 7.02 dlya remonta mekhatronika DSG 7 DQ200 [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://kinergo.ru/produkcija/oborudovanie-kinergo/komplekt-dlya-remonta-dsg-7-02>.
11. Fedotov A.I. Diagnostika avtomobilya : uchebnik dlya studentov vuzov, obuchayushchikhsya po napravleniyu podgotovki bakalavrov i magistrrov «Ekspluatatsiya transportno-tekhnologicheskikh mashin i kompleksov». - Irkutsk: Irkutskiy gos. tekhnicheskiiy un-t., 2012. - 476 s.
12. D'Elia G., Mucchi E., Cocconcelli M. On the identification of the angular position of gears for the diagnostics of planetary gearboxes // Mechanical systems and signal processing. - V. 83. - 2017. - P. 305-320.
13. Schmidt S., Heyns P.S., J.P. de Villiers A novelty detection diagnostic methodology for gearboxes operating under fluctuating operating conditions using probabilistic techniques // Mechanical systems and signal processing. - V.100. - 2018. - P. 152-166.
14. Weiguo Huang. Multi-source fidelity sparse representation via convex optimization for gearbox compound fault diagnosis // Journal of Sound and vibration. - V. 496. - 2021. - R. 115879.
15. Foulard S., Ichchou M., Rinderknecht S., Perret-Liaudet J. Online and real-time monitoring system for remaining service life estimation of automotive transmissions - application to a manual transmission // Mechatronics. - V. 30. - 2015. - P. 140-157.
16. Chuan Li. Gearbox fault diagnosis based on deep random forest fusion of acoustic and vibratory signals // Mechanical systems and signal processing. - V. 76-77. - 2016. - P. 283-293.
17. Liu Hong, Jaspreet Singh, Dhupia. A time domain approach to diagnose gearbox fault based on measured vibration signals // Journal of Sound and vibration. - V. 333. - 2014. - P. 2164-2180.
18. Gaigai Cai, Xuefeng Chen, Zhengjia He. Sparsity-enabled signal decomposition using tunable Q-factor wavelet transform for fault feature extraction of gearbox // Mechanical systems and signal processing. - V. 41. - 2013. - P. 34-53.
19. Binqiang Chen. Fault feature extraction of gearbox by using overcomplete rational dilation discrete wavelet transform on signals measured from vibration sensors // Mechanical systems and signal processing. - V. 33. - 2012. - P. 275-298.
20. Yaguo Lei, Dong Han, Jing Lin, Zhengjia He. Planetary gearbox fault diagnosis using an adaptive stochastic resonance method // Mechanical systems and signal processing. - V. 38. - 2013. - P. 113-124.

Lomakin Denis Olegovich

Oryol State University

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

Candidate of technical sciences

E-mail: forstudentwork@mail.ru

Simushkin Andrey Vladislavovich

Oryol State University

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

Master's student

E-mail: simka@mail.ru

Kravchenko Valeriy Anatoliyevich

Orel State University

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

Candidate of technical sciences

Email: 19vak52@mail.ru

Научная статья

УДК 681.51

doi:10.33979/2073-7432-2023-4-1(83)-51-59

А.А. ПАНКОВ, Г.И. НЕЧАЕВ, В.В. МИРОШНИКОВ, А.С. ЗАХАРЧУК,
Л.Я. БУДИКОВ, Д.С. КОРОБЕЙНИКОВ, И.Г. МИХАЙЛОВА**РАЗРАБОТКА И ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ
ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН**

Аннотация. В работе показано, что для повышения эффективности работы транспортно-технологических машин актуальны исследования, разработка и совершенствование информационно-управляющих систем. Предложены модель и конструкция автоматизированной системы управления движением ТТМ на основе интеграции гидрообъемного рулевого управления с мехатронным модулем. Предложенная информационно-управляющая система может применяться в ТТМ как основная, так и вспомогательная.

Ключевые слова: транспортно-технологическая машина, автоматизация, система управления движением, гидрообъемное рулевое управление, мехатронный модуль

Введение

Информационно-управляющие системы (ИУС) становятся неотъемлемой составляющей при автоматизации сложных объектов и процессов [1]. В транспортной отрасли в одной из первых началось внедрение цифровых технологий. Причиной этого явилась объективная необходимость в автоматизации управления и повышении надежности работы транспорта, что подтолкнуло транспортную сферу к необходимости ранее других провести компьютеризацию и информатизацию процессов и систем управления [2].

Согласно [3], новая техника в соответствии с 5-м техноукладом, должна обеспечивать прецизионное информационное управление транспортно-технологическими процессами.

Поэтому одним из направлений исследований и инноваций в области транспортно-технологических машин (ТТМ) является развитие интеллектуальных систем с полной или частичной автоматизацией процессов управления [4-12].

Тенденции развития транспортных средств (ТС) показывают, что в настоящее время актуальны исследование и разработка бортовых интеллектуальных транспортных систем (БИТС) [13, 14] и бортовых информационно-управляющих систем (БИУС), способных оптимизировать функционирование агрегатов и узлов в едином комплексе для повышения эффективности их использования. Применение БИУС и БИТС существенно облегчает оператору осуществление его функций. Это в особенности актуально, когда речь идет о сложных машинах и комплексах машин [15-17].

Исходя из анализа возможных схем построения БИУС и БИТС можно заключить, что целесообразным является использование мехатронных модулей и систем (ММ и МС). Они исполняются как блоки, содержащие первичные преобразователи (датчики), а также устройства преобразования сигналов и вычислительные устройства. Для управления исполнительными устройствами создается ММ, в состав которого входят вычислительное устройство, усилитель-преобразователь и исполнительный механизм [17-19].

Поэтому применение ММ и МС перспективно при автоматизации управления движением и другими рабочими процессами в мобильных технологических объектах (МТО) [20]. В целом, основной тенденцией в современном машиностроении, является переход от механики к мехатронике. Мехатронный подход в построении машин нового поколения заключается в переносе функциональной нагрузки от механических узлов к «интеллектуальным» компонентам. МС позволяют поднять технический уровень машин на качественно новую ступень, значительно улучшив их функциональные возможности [21, 22].

Гидрообъёмное рулевое управление (ГОРУ) широко распространено в современных ТТМ [23] и дает возможность свободной компоновки агрегатов, упрощает их конструкцию и эксплуатацию, снижает материалоемкость ТТМ, улучшает условия труда оператора. Интеграция мехатронных модулей в конструкции ГОРУ позволит существенно повысить эффективность применения, как ГОРУ, так и ТТМ в целом.

Цель исследований – создание автоматизированной системы управления движением (АСУД) ТТМ на основе интеграции ГОРУ с мехатронным модулем.

Задачи исследований:

- теоретически обосновать структурную модель АСУД ТТМ с мехатронным модулем;
- выбрать программно-аппаратную платформу для АСУД ТТМ, сформировать конструктивную модель мехатронного модуля, разработать элементы программного обеспечения функциональных движений в АСУД ТТМ;
- осуществить лабораторные испытания АСУД ТТМ с мехатронным модулем.

Материал и методы

Методологическим принципом исследований принят мехатронный подход с использованием ММ, построенных на принципах интеграции гидромеханических, электронных и информационных компонентов.

Исследование управляющих воздействий ГОРУ-ММ на управляемый объект реализовано на макете программно-аппаратного комплекса (ПАК) АСУД ТТМ (рис. 1) [24].

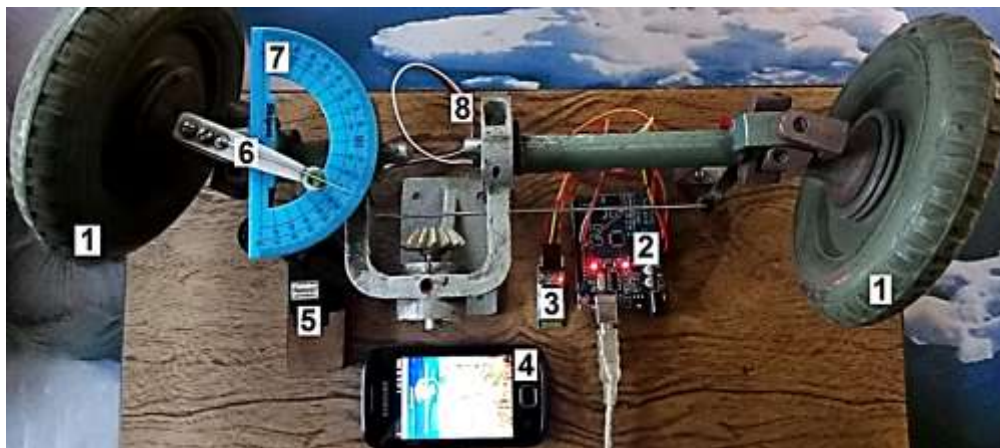


Рисунок 1 – Макет ПАК АСУД ТТМ: 1 – управляемые колёса; 2 – программно-аппаратная платформа Arduino UNO; 3 – bluetooth-модуль; 4 – вычислительно-информационное устройство (смартфон); 5 – серводвигатель; 6 – указатель; 7 – транспортёр; 8 – соединительные провода

При работе макета ПАК АСУД ТТМ значение передвигения слайдера в смартфоне 4 на заданный угол должно соответствовать повороту колёс 1 на такой же угол, что отражает указатель 6 на транспорте 7.

В экспериментальных исследованиях применялись приборы и оборудование, представленные на физической модели ММ АСУД ТТМ (рис. 2).

Испытания ММ АСУД ТТМ осуществлялись на стенде КИ-4200 (рис. 3). На стенде КИ-4200 моделировалась работа гидросистемы ТТМ (гидронасоса рулевого управления).

Теория

На рисунке 4 представлена структурная модель АСУД ТТМ с мехатронным модулем.

В ММ входит исполнительный орган (ИО) – часть мехатронного блока для выполнения воздействий по сигналам от («физического» и «виртуального») вычислительно-управляющих устройств, а также рабочий орган (РО) для реализации рабочего процесса объекта. В рассматриваемом случае это ГОРУ, воздействующее на управляемые колеса ТТМ.

Структурная модель АСУД ТТМ включает в себя информационные входы (информационную обратную связь и программы рабочего процесса) и выходы - воздействие на управляемый узел. Поэтому данная модель представляет собой информационно-электро-

гидромеханический преобразователь.

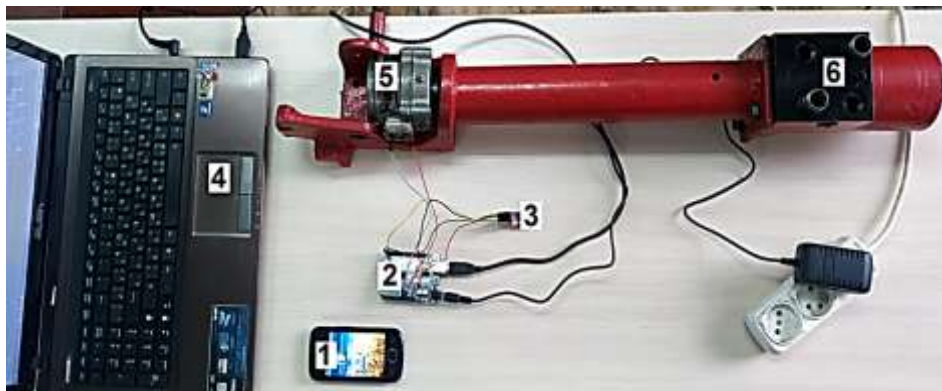


Рисунок 2 – Физическая модель ММ АСУД ТТМ: 1 – управляющее устройство; 2 – программно-аппаратная платформа Arduino Uno (микроконтроллер Atmega 328); 3 – bluetooth-модуль HC-05; 4 – ноутбук; 5 – серводвигатель СД-54 (конденсаторный, со встроенным редуктором); 6 – насос-дозатор (НД) ГОРУ



Рисунок 3 – Лабораторная установка для исследований ММ АСУД ТТМ: 1 – ГОРУ; 2 – КИ-4200

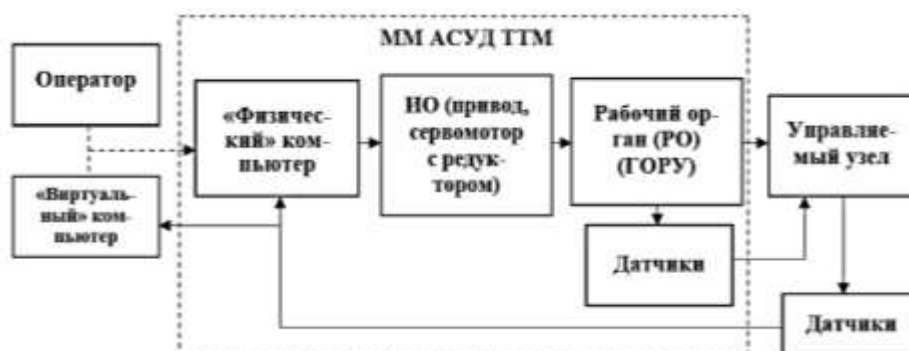


Рисунок 4 – Структурная модель АСУД ТТМ с мехатронным модулем

Разработанная структурная модель реализована в физической модели АСУД ТТМ. Программное обеспечение (ПО) для работы АСУД ТТМ состоит из 2-х частей. Первая – это ПО взаимодействия схемы Arduino (которые являются основным элементом для решения задач в области мехатроники [25]) с серводвигателем и вычислительным устройством. Вторая часть – ПО для управления серводвигателем.

ПО взаимодействия схемы Arduino с серводвигателем и вычислительным устройством разработано в среде Arduino IDE. Фрагмент ПО:

```

#include<SoftwareSerial.h>
#include<Servo.h>
Servo myservo; int bluetoothTx = 10; int bluetoothRx = 11;
SoftwareSerial bluetooth (bluetoothTx, bluetoothRx); void setup ()
    
```

```
{myservo.attach (9); Serial.begin (9600); bluetooth.begin (9600);}void loop ()
{if (bluetooth.available () > 0 ) {int servopos = bluetooth.read (); Serial.println (servopos);
myservo.write (servopos); }}
```

После тестирования данное ПО содержится в памяти схемы Arduino. Пример ПО для управления сервомотором показан на рисунке 5.

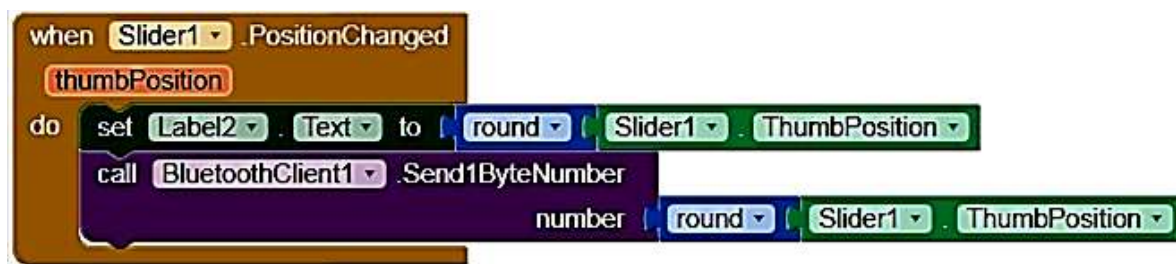


Рисунок 5 - Пример ПО для управления сервомотором

Результаты и обсуждение

При лабораторных испытаниях осуществлялось физическое моделирование рабочего процесса АСУД ТТМ, которое заключалось в том, что управляющее воздействие на гидроцилиндр управляемых колес ТТМ и одинаковое значение выдвижения штока гидроцилиндра достигается двумя способами. Первый – обычное управление ТТМ рулевым колесом и насосом-дозатором (рис. 6а) при работе стенда. Второй – воздействием на переносное управляющее устройство 1 (смартфон или планшет, рис. 6б). Во втором случае аналоговое программное воздействие (рис. 5) на слайдер в управляющем устройстве 1 преобразуется в дискретное, и сигналы с устройства 1 через адаптер беспроводной связи 4 передаются на программно-аппаратный комплекс (ПАК) Arduino 2, к сервоприводу 3, и через насос-дозатор 5 ГОРУ на гидроцилиндр 6 управляемых колёс ТТМ.

Испытания модели АСУД ТТМ на основе ГОРУ с ММ показали, что при установке определенного значения угла поворота на управляющем устройстве 1, значение выдвижения штока гидроцилиндра 6 соответствует значению выдвижения штока при аналогичной величине угла поворота рулевого колеса.

Перспективы дальнейших исследований. Известно, что в настоящее время одним из направлений совершенствования ТТМ является их комплексная гидрофикация на основе применения перспективных схмотехнических решений [26]. Комплексная гидрофикация позволяет внести существенные качественные изменения в технологические процессы, выполняемые ТТМ. Одно из преимуществ, которое даёт внедрение комплексной гидрофикации, – это расширение области применения и совершенствование систем автоматизированного вождения и управления рабочими процессами ТТМ. При этом появится возможность более эффективного использования всех преимуществ гидропривода [27, 28], в особенности с применением средств комплексной автоматизации.

Анализ рабочих процессов, которые могут комплексно гидрофицироваться, авторами [28] сгруппирован по их «родству» и требующих однотипных гидроагрегатов (ГА) и гидросистем (ГС) в гидроприводах. Таким образом, авторами [28] были выделены следующие направления комплексной гидрофикации:

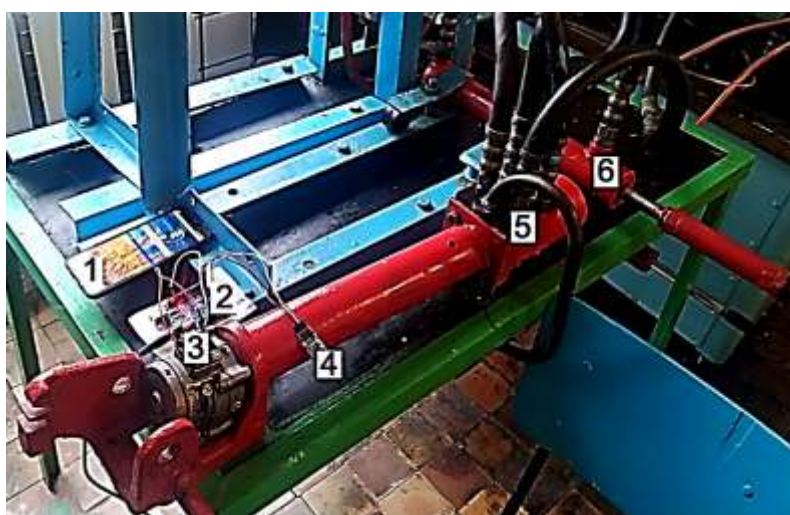
- гидропривод рабочих органов (ГА 1);
- гидротрансмиссии ходовых систем (ГА 2);
- гидроусилители руля и ГОРУ (ГА 3);
- гидроприводы автоматического регулирования пространственного положения и режимов работы ТТМ (ГА 4);
- гидроприводы вспомогательного назначения (ГА 5).

Еще в 1980-х гг. установлено, что для организации системы комплексной автоматизации необходимы новые интеллектуальные средства (блоки обработки информации и формирования сигналов управления, в том числе принятия машинных решений) [29, 30]. В настоящее время автоматизация работы гидроагрегатов и гидросистем при комплексной гидрофи-

кации может осуществляться распределёнными системами управления (PCY) с внедрением в ГС интеллектуальных мехатронных модулей (ИММ).



а



б

Рисунок 6 – ГОРУ ТТМ: а – стенд КИ-4200 с ГОРУ; б – АСУД ТТМ, интегрированное с ГОРУ:
1 – управляющее устройство (смартфон); 2 – ПАК Arduino; 3 – серводвигатель; 4 – адаптер Bluetooth;
5 – НД (насос-дозатор) ГОРУ; 6 – гидроцилиндр направляемых колёс; 7 – рулевое колесо

Для создания PCY необходимо интегрировать ИММ с ГА и объединить с центральным вычислительным устройством верхнего уровня управления через локальную вычислительную сеть (ЛВС) [31]. Предлагаемая схема автоматизации работы гидроагрегатов на основе усовершенствованной архитектуры PCY представлена на рисунке 7. Такая гидромехатронная система (ГМС) при комплексной гидрофикации может включать в себя, например, управление гидросиловой трансмиссией (ГСТ), управление движением ТТМ, управление гидроагрегатами их рабочего оборудования и т.п.

Построение архитектуры автомати-



Рисунок 7 – Схема архитектуры PCY для автоматизации работы гидроагрегатов при комплексной гидрофикации (обозначения в тексте)

зированных гидросистем ТТМ может осуществляться комплектованием отдельных ИММ в ГМС верхних сложных уровней на основе РСУ. Обмен информацией и командами управления между агрегатами и устройствами может производиться через беспроводную ЛВС.

РСУ позволяют эффективно управлять рабочими процессами ТТМ. Основными преимуществами таких систем управления можно назвать:

- открытость архитектуры, что дает системе управления высокую гибкость и возможность оперативно формировать законы управления в соответствии с требованиями рабочего процесса, быстро реконфигурировать и расширять систему управления для решения новых функциональных задач;

- возможность диагностики конструктивно-технологических параметров и рабочего процесса при выполнении технологических операций.

Выводы

1. Показано, что основу структурной модели АСУД ТТМ составляет мехатронный модуль, в который интегрированы программно-аппаратная платформа, исполнительный орган и рабочий орган (ГОРУ). Представленная модель может рассматриваться как информационно-электро-гидромеханический преобразователь.

2. Программно-аппаратная платформа АСУД и конструктивная модель мехатронного модуля базируются на распространённой элементной базе платформы Arduino и стандартных агрегатах ГОРУ, что может являться основой для унифицированного подхода в построении и использовании мехатронных модулей в ТТМ.

3. Экспериментальные исследования установили работоспособность структурного решения по разработке АСУД ТТМ на основе интеграции ГОРУ с мехатронным модулем.

4. Показано, что автоматизация рабочего процесса гидросистем и гидроагрегатов ТТМ при комплексной гидрофикации может осуществляться на основе распределённых систем управления с интеграцией в гидросистемы интеллектуальных мехатронных модулей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коровин А.М. Интеллектуальные системы: текст лекций. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – 60 с.
2. Машкина Н.А., Велиев А.Е. Влияние цифровой экономики на развитие транспортной отрасли в мире [Электронный ресурс] / ЦИТИСЭ. - 2020. - №1(23). - С. 290-299. – Режим доступа: <http://doi.org/10.15350/24097616.2020.1.27>.
3. Поляков В.А., Фомичева И.В. Анализ технико-экономических парадигм «технологический уклад» и «индустрия» // Известия Тульского государственного университета. Экономические и юридические науки. – 2019. - №1-1. – С. 30-38.
4. Васильев С.Р. Инновации в транспортной сфере // Синергия наук. – 2018. - №29. – С. 489-496.
5. Евсеев Д.З., Зайцева М.М., Косенко В.В., Котесова А.А., Шульга Т.К. Индустрия 4.0 и автомобильный транспорт [Электронный ресурс] / Инженерный вестник Дона. – 2018. – №2. – Режим доступа: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2018/4919.
6. Лохин В.М., Романов М.П. Интеллектуальные системы управления – перспективная платформа для создания техники нового поколения // Вестник МГТУ МИРЭА. - №1(2). - 2014. - С. 1-24.
7. Меренков А.О. Индустрия 4.0: немецкий опыт развития цифрового транспорта и логистики // Управление. – 2017. – №4(18). – С. 17-21.
8. Паршин Д.Я., Шевчук Д.Г. Мехатронная система адаптивного управления движением зерноуборочного комбайна // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. - 2012. - Т.12. - №8(69). - С. 73-82.
9. Паршин Д.Я., Шевчук Д.Г. Многопараметрическая система адаптивного управления зерноуборочным комбайном // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. - 2011. - Т.11. - №10(61). - С. 1817-1823.
10. Таричко В.И., Лагерева И.А., Черных А.А. Компьютерное моделирование режимов движения мобильной транспортно-технологической машины [Электронный ресурс] / Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2020. - №1. – С. 136-143. – Режим доступа: <http://doi.org/10.22281/2413-9920-2020-06-01-136-143>.
11. Шевчук Д.Г. Многопараметрическая мехатронная система адаптивного управления движением зерноуборочного комбайна: дис ... канд. техн. наук. - Ростов-на-Дону: Юж.-Рос. гос. техн. ун-т, 2013. - 183 с.
12. Шутенко В.В., Перевозчикова Н.В. Создание алгоритма управления индивидуальным приводом ведущих колес транспортно-технологического модуля [Электронный ресурс] / Агроинженерия. - №5(99). - 2020. - С. 10-15. – Режим доступа: <http://doi.org/10.26897/2687-1149-2020-5-10-15>.
13. Топалиди В.А. Современные и перспективные бортовые интеллектуальные транспортные системы

// Автомобильный транспорт. - № 29. – 2011. – С. 254-257.

14. Современные тенденции развития бортовых интеллектуальных транспортных систем: Монография / П.А. Пегин, Д.В. Капский, В.В. Касьяник, В.Н. Шуть. - СПб.: СПбГАСУ. – 2019. – 198 с.

15. Асанов А.З. Архитектура бортовых информационно-управляющих систем роботизированных большегрузных магистральных автомобилей // Российский технологический журнал. – 2017. – Т.5. - №3. – С. 106-113.

16. Иванов А.М., Солнцев А.Н. Перспективы развития интеллектуальных бортовых систем автотранспортных средств в РФ // Журнал автомобильных инженеров. – 2010. - №6(65). - С. 14-19.

17. Бортовая информационно-управляющая система (БИУС) транспортного средства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.bibliofond.ru/download.aspx?id=896491>.

18. Белоусов Б.Н., Климачкова А.С. Проектирование и моделирование привода рулевого управления как ключевого элемента мехатронного опорно-ходового модуля [Электронный ресурс] / Мехатроника, автоматизация, управление. - 2015. - Т.16. - №7. - С.484-491. – Режим доступа: <http://doi.org/10.17587/mau.16.484-490>.

19. Транспортные мехатронные средства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/1379719/page:7/>.

20. Теряев Е.Д., Филимонов Н.Б., Теряев Е.Д., Петрин К.В. Мехатроника как компьютерная парадигма развития технической кибернетики // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2009. – №6. – С. 2-10.

21. Мехатронная техника в задачах автоматизации производственных технологических процессов: пособие для студентов [Электронный ресурс] / Сост. Д. П. Гераськин. – Сыктывкар: СЛИ, 2011. – Режим доступа: <http://lib.sfi.komi.com>.

22. Новосёлов В.А., Смолькова Е.В. Модульный подход в проектировании транспортно-технологических машин с использованием мехатронных модулей линейного перемещения // Science Time. – 2016. - №3(27). – С. 368-376.

23. Гидрообъемное управление [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lomoles.ru/tpost/dxs01vuni2-gidroobemnoe-upravlenie>.

24. Щеглов А.В., Нечаев Г.И., Панков А.А., Ермак В.П., Коробейников Д.С. Разработка информационно-управляющей системы мобильных транспортно-технологических машин // Научный вестник Луганского государственного аграрного университета. – Луганск: ГОУ ВО ЛНР ЛГАУ. – 2021. – №4(13). – С. 349-357.

25. Омельченко Е.Я., Танич В.О., Маклаков А.С., Карякина Е.А. Краткий обзор и перспективы применения микропроцессорной платформы Arduino // «Электротехнические системы и комплексы». – 2013. - №21. – С. 28-33.

26. Гелеверов В.Н., Дьяченко А.Д. Самоходные зерноуборочные комбайны как объекты гидрофикации // Вестник ДГТУ. - 2008. - Т.8. - №3(38). – С. 43-51.

27. Часовской В.П., Лангазов В.Н. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы сельскохозяйственной техники. Специальный курс: Учебное пособие для студентов сельскохозяйственных вузов. – Луганск: Знание, 2003. – 336 с.

28. Волин В.Д., Марквартде В.М. Применение гидроприводов в тракторах и с.-х. машинах // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1975. - №1. – С. 5-7.

29. Шипилевский Г.Б. Задачи и предпосылки автоматизации МТА // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1996. - №1. – С. 31-32.

30. Викторов А.И., Ломакин Б.М. Стандартизация и унификация средств автоматизации сельхозмашин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1988. - №4. – С. 25-28.

31. Подураев Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение: Учебное пособие для студентов вузов. – М.: Машиностроение, 2006. – 256 с.

Панков Андрей Александрович

Луганский государственный университет имени Владимира Даля

Адрес: 291034, Россия, г. Луганск, квартал Молодёжный, 20а

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

E-mail: app.post@rambler.ru

Нечаев Григорий Иванович

Луганский государственный университет имени Владимира Даля

Адрес: 291034, Россия, г. Луганск, квартал Молодёжный, 20а

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

E-mail: logistikatt@mail.ru

Мирошников Вадим Владимирович

Луганский государственный университет имени Владимира Даля

Адрес: 291034, Россия, г. Луганск, квартал Молодёжный, 20а

Д.т.н., заведующий кафедрой «Приборы», проректор по научно-учебной работе

E-mail: prorectormvv@mail.ru

Захарчук Александр Сидорович

Луганский государственный университет имени Владимира Даля
Адрес: 291034, Россия, г. Луганск, квартал Молодёжный, 20а
Д.т.н., профессор кафедры «Электротехнические системы электропотребления»
E-mail: kaf_energo_sys@mail.ru

Будиков Леонид Яковлевич

Луганский государственный университет имени Владимира Даля
Адрес: 291034, Россия, г. Луганск, квартал Молодёжный, 20а
Д.т.н., профессор кафедры «Аварийно-спасательные работы»
E-mail: leonidbudikov@yandex.ru

Коробейников Дмитрий Сергеевич

Луганский государственный университет имени Владимира Даля
Адрес: 291034, Россия, г. Луганск, квартал Молодёжный, 20а
Аспирант
E-mail: dimaktt@mail.ru

Михайлова Ирина Геннадиевна

Луганский государственный университет имени Владимира Даля
Адрес: 291034, Россия, г. Луганск, квартал Молодёжный, 20а
Соискатель
E-mail: tilinstitut@gmail.com

A.A. PANKOV, G.I. NECHAEV, V.V. MIROSHNIKOV, A.S. ZAHARCHUK,
L.YA. BUDIKOV, D.S. KOROBEJNIKOV, I.G. MIHAJLOVA

DEVELOPMENT AND LABORATORY TESTING AUTOMATED TRAFFIC CONTROL SYSTEM TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MACHINES

Abstract. *The paper shows that research, development and improvement of information and control systems are relevant to improve the efficiency of transport and technological machines. A model and design of an automated TTM motion control system based on the integration of hydro-volume steering with a mechatronic module are proposed. The proposed information and control system can be used in TTM as the main and auxiliary.*

Keywords: *transport and technological machine, automation, motion control system, hydro-volume steering, mechatronic module*

BIBLIOGRAPHY

1. Korovin A.M. *Intellektual'nye sistemy: tekst lektsiy*. - Chelyabinsk: Izdatel'skiy tsentr YUUrGU, 2015. - 60 s.
2. Mashkina N.A., Veliev A.E. *Vliyanie tsifrovoy ekonomiki na razvitie transportnoy otrasli v mire [Elektronnyy resurs] / TSITISE*. - 2020. - №1(23). - S. 290-299. - Rezhim dostupa: <http://doi.org/10.15350/24097616.2020.1.27>.
3. Polyakov V.A., Fomicheva I.V. *Analiz tekhniko-ekonomicheskikh paradigim «tehnologicheskij uklad» i «industriya» // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomicheskie i yuridicheskie nauki*. - 2019. - №1-1. - S. 30-38.
4. Vasil'ev S.R. *Innovatsii v transportnoy sfere // Sinergiya nauk*. - 2018. - №29. - S. 489-496.
5. Evseev D.Z., Zaytseva M.M., Kosenko V.V., Kotesova A.A., Shul'ga T.K. *Industriya 4.0 i avtomobil'nyy transport [Elektronnyy resurs] / Inzhenernyy vestnik Dona*. - 2018. - №2. - Rezhim dostupa: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2018/4919.
6. Lokhin V.M., Romanov M.P. *Intellektual'nye sistemy upravleniya - perspektivnaya platforma dlya sozdaniya tekhniki novogo pokoleniya // Vestnik MGTU MIREA*. - №1(2). - 2014. - S. 1-24.
7. Merenkov A.O. *Industriya 4.0: nemetskiy opyt razvitiya tsifrovogo transporta i logistiki // Upravlenie*. - 2017. - №4(18). - S. 17-21.
8. Parshin D.Ya., Shevchuk D.G. *Mekhatronnaya sistema adaptivnogo upravleniya dvizheniem zernoubo-rochnogo kombayna // Vestnik Don. gos. tekhn. un-ta*. - 2012. - T.12. - №8(69). - S. 73-82.
9. Parshin D.Ya., Shevchuk D.G. *Mnogoparametricheskaya sistema adaptivnogo upravleniya zernoubo-rochnym kombaynom // Vestnik Don. gos. tekhn. un-ta*. - 2011. - T.11. - №10(61). - S. 1817-1823.
10. Tarichko V.I., Lagerev I.A., Chernykh A.A. *Komp'yuternoe modelirovanie rezhimov dvizheniya mobil'noy transportno-tehnologicheskoy mashiny [Elektronnyy resurs] / Nauchno-tehnicheskij vestnik Bryansko-go gosudarstvennogo universiteta*. - 2020. - №1. - S. 136-143. - Rezhim dostupa: <http://doi.org/10.22281/2413-9920-2020-06-01-136-143>.
11. Shevchuk D.G. *Mnogoparametricheskaya mekhatronnaya sistema adaptivnogo upravleniya dvizheniem zernoubo-rochnogo kombayna: dis ... kand. tekhn. nauk*. - Rostov-na-Donu: Yuzh.-Ros. gos. tekhn. un-t, 2013. - 183 s.
12. Shutenko V.V., Perevozchikova N.V. *Sozdanie algoritma upravleniya individual'nym privodom vedushchikh koles transportno-tehnologicheskogo modulya [Elektronnyy resurs] / Agrozinzheniya*. - №5(99). - 2020. - S. 10-15. -

Rezhim dostupa: <http://doi.org/10.26897/2687-1149-2020-5-10-15>.

13. Topalidi V.A. Sovremennyye i perspektivnyye bortovyye intellektual'nyye transportnye sistemy // Avtomobil'nyy transport. - № 29. - 2011. - S. 254-257.
14. Sovremennyye tendentsii razvitiya bortovykh intellektual'nykh transportnykh sistem: Monografiya / P.A. Pegin, D.V. Kapskiy, V.V. Kas'yanik, V.N. Shut'. - SPb.: SPbGASU. - 2019. - 198 s.
15. Asanov A.Z. Arkhitektura bortovykh informatsionno-upravlyayushchikh sistem robotizirovannykh bol'shegruznykh magistral'nykh avtomobiley // Rossiyskiy tekhnologicheskiy zhurnal. - 2017. - T.5. - №3. - S. 106-113.
16. Ivanov A.M., Solntsev A.N. Perspektivy razvitiya intellektual'nykh bortovykh sistem avtotransportnykh sredstv v RF // Zhurnal avtomobil'nykh inzhenerov. - 2010. - №6(65). - S. 14-19.
17. Bortovaya informatsionno-upravlyayushchaya sistema (BIUS) transportnogo sredstva [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://www.bibliofond.ru/download.aspx?id=896491>.
18. Belousov B.N., Klimachkova A.S. Proektirovanie i modelirovanie privoda rulevogo upravleniya kak klyuchevogo elementa mekhatronnogo oporno-khodovogo modulya [Elektronnyy resurs] / Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie. - 2015. - T.16. - №7. - S.484-491. - Rezhim dostupa: <http://doi.org/10.17587/mau.16.484-490>.
19. Transportnye mekhatronnye sredstva [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://studfile.net/preview/1379719/page/7/>.
20. Teryaev E.D., Filimonov N.B., Teryaev E.D., Petrin K.V. Mekhatronika kak komp'yuternaya paradigma razvitiya tekhnicheskoy kibernetiki // Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie. - 2009. - №6. - S. 2-10.
21. Mekhatronnaya tekhnika v zadachakh avtomatizatsii proizvodstvennykh tekhnologicheskikh protsessov: posobie dlya studentov [Elektronnyy resurs] / Sost. D. P. Geras'kin. - Syktyvkar: SLI, 2011. - Rezhim dostupa: <http://lib.sfi.komi.com>.
22. Novosiolov V.A., Smol'kova E.V. Modul'nyy podkhod v proektirovanii transportno-tekhnologicheskikh mashin s ispol'zovaniem mekhatronnykh moduley lineynogo peremeshcheniya // Science Time. - 2016. - №3(27). - S. 368-376.
23. Gidroob'emnoe upravlenie [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://lomoles.ru/tpost/dxs01vuni2-gidroobemnoe-upravlenie>.
24. Shcheglov A.V., Nechaev G.I., Pankov A.A., Ermak V.P., Korobeynikov D.S. Razrabotka informatsionno-upravlyayushchey sistemy mobil'nykh transportno-tekhnologicheskikh mashin // Nauchnyy vestnik Luganskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. - Lugansk: GOU VO LNR LGAU. - 2021. - №4(13). - S. 349-357.
25. Omel'chenko E.YA., Tanich V.O., Maklakov A.S., Karyakina E.A. Kratkiy obzor i perspektivy primeneniya mikroprotssornoy platformy Arduino // «Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы». - 2013. - №21. - S. 28-33.
26. Geleverov V.N., D'yachenko A.D. Samokhodnye zernoborochnye kombayny kak ob'ekty gidrofikatsii // Vestnik DGTU. - 2008. - T.8. - №3(38). - S. 43-51.
27. Chasovskoy V.P., Langazov V.N. Gidravlika, gidromashiny i gidroprivody sel'skokhozyaystvennoy tekhniki. Spetsial'nyy kurs: Uchebnoe posobie dlya studentov sel'skokhozyaystvennykh vuzov. - Lugansk: Znanie, 2003. - 336 s.
28. Volin V.D., Markvartde V.M. Primenenie gidroprivodov v traktorakh i s.kh. mashinakh // Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny. - 1975. - №1. - S. 5-7.
29. Shipilevskiy G.B. Zadachi i predposylki avtomatizatsii MTA // Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny. - 1996. - №1. - S. 31-32.
30. Viktorov A.I., Lomakin B.M. Standartizatsiya i unifikatsiya sredstv avtomatizatsii sel'khoz mashin // Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny. - 1988. - №4. - S. 25-28.
31. Poduraev Yu.V. Mekhatronika: osnovy, metody, primeneniye: Uchebnoe posobie dlya studentov vuzov. - M.: Mashinostroenie, 2006. - 256 s.

Pankov Andrej Aleksandrovich

Lugansk State University
Address: 291034, Russia, Lugansk
Doctor of technical sciences
E-mail: app.post@rambler.ru

Nechaev Grigorij Ivanovich

Lugansk State University
Address: 291034, Russia, Lugansk
Doctor of technical sciences
E-mail: logistikatt@mail.ru

Miroshnikov Vadim Vladimirovich

Lugansk State University
Address: 291034, Russia, Lugansk
Doctor of technical sciences
E-mail: prorectormvv@mail.ru

Zaharchuk Aleksandr Sidorovich

Lugansk State University
Address: 291034, Russia, Lugansk
Doctor of technical sciences
E-mail: kaf_energo_sys@mail.ru

Budikov Leonid Yakovlevich

Lugansk State University
Address: 291034, Russia, Lugansk
Doctor of technical sciences
E-mail: leonidbudikov@yandex.ru

Korobeynikov Dmitrij Sergeevich

Lugansk State University
Address: 291034, Russia, Lugansk
Postgraduate student
E-mail: dimaktt@mail.ru

Mihajlova Irina Gennadievna

Lugansk State University
Address: 291034, Russia, Lugansk
Applicant
E-mail: tilinstitut@gmail.com

Научная статья

УДК 656.022

doi:10.33979/2073-7432-2023-4-1(83)-60-66

М.С. ПРИСЯЖНЮК, Н.В. ПОДОПРИГОРА, А.В. ТЕРЕНТЬЕВ

ВЫБОР ЭФФЕКТИВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ОРГАНИЗАЦИИ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК В ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

***Аннотация.** В статье рассматриваются проблемы и возможные пути их решения в сложившейся системе организации пассажирских перевозок общественным транспортом в Ленинградской области. Существующие модели транспортного обслуживания в современных сложных условиях динамичного изменения пассажиропотоков, повышения стоимости горюче-смазочных материалов и запасных частей не позволяют перевозчику обеспечивать своевременное обновления подвижного состава и вынуждают искать способы сокращения материальных издержек в ущерб качеству обслуживания пассажиров на маршрутах. Система организации пассажирских перевозок в Ленинградской области является сложной и многоуровневой, поэтому ее эффективное управление невозможно без научно-обоснованных инструментов принятия управленческих решений.*

***Ключевые слова:** пассажирские перевозки, транспортная модель, качество обслуживания пассажиров, транспортные издержки, многокритериальная модель*

Введение

На сегодняшний день маршрутная сеть Ленинградской области является одной из самых сложных по топологии в РФ. Она включает в себя 163 автобусных маршрута, из которых 131 маршрут обеспечивает связь поселений Ленинградской области с г. Санкт-Петербургом и 32 маршрута осуществляют перевозку между муниципальными районами Ленинградской области. Работа большинства маршрутов организована для транспортного сообщения с г. Санкт-Петербургом, в основном со станциями метрополитена. Каркас маршрутной сети составляют именно пригородные маршруты, обеспечивая транспортное сообщение с г. Санкт-Петербургом на регулярной основе. Из 131 смежного маршрута – 101 пригородный. Основными проблемами организации пассажирских перевозок общественным транспортом в Ленинградской области лежат как области организации перевозок, так и технологическом уровне [1-3]. Основа подвижного состава на маршрутах – это устаревшие морально и материально автобусы ПАЗ среднего класса, на них приходится более половины парка перевозчиков Ленинградской области. Преимуществом применения автобусов среднего класса является возможность сохранять баланс между приемлемой для пассажиров интенсивностью движения и доходностью перевозчиков. Согласно проведенным расчетам, стоимость транспортной работы за 1 километр пробега для автобусов большого класса практически вдвое превышает аналогичный параметр для машин среднего класса (90 руб. и 54 руб. соответственно).

Основная проблема в области организации перевозок — это несоблюдение графиков движения автобусов [4, 5]. За период с 2019 по 2022 год, в Комитет поступило более 8000 обращений граждан по вопросам, связанным с организацией транспортного обслуживания. Основная тематика обращений – несоблюдение установленного расписания, неудовлетворительное состояние подвижного состава на маршрутах, отсутствие цифровых сервисов, включая безналичную и бесконтактную оплату проезда.

Осложняет работу общественного транспорта и внешняя среда системы организации перевозок. Сложившаяся неблагоприятная внешнеполитическая ситуация, а также прошедшая пандемия коронавируса, значительно отразилась на работе автотранспортных предприятий.

Постоянное изменение пассажиропотока, повышение стоимости горюче-смазочных материалов (ГСМ) и запасных частей ведут к снижению выручки транспортных предприятий, получаемый доход не позволяет обеспечить перевозчику возможность обновления подвижного состава, качественного и своевременного ремонта техники и вынуждает перевозчиков искать способы сокращения материальных издержек на обслуживание маршрутов – работа в данных условиях показала несовершенство существующей модели транспортного обслуживания.

Материал и методы

Понимая суть перечисленных проблем, Комитетом по транспорту Ленинградской области предлагается рассмотреть варианты перехода в 2025 году на новую модель транспортного обслуживания. В соответствии с методическими рекомендациями Министерства транспорта Российской Федерации (далее – Минтранс России), а также порядком определения начальной цены контракта на право осуществления пассажирских перевозок возможно применение двух подходов:

1) «Брутто» контракты. Аналогичная модель транспортного обслуживания в настоящее время внедрена в г. Москве и Московской области, Тверской области, г. Санкт-Петербурге, г. Перми и г. Новокузнецке. Отличительной особенностью модели является полное исключение перевозчика из процесса сбора платы за проезд – она перечисляется в бюджет субъекта. К положительным сторонам модели можно отнести полный контроль работы маршрутов, высокую дисциплинированность перевозчиков и их стремление в выполнении 100 % от установленных объемов транспортной работы. Отрицательной стороной является необходимость создания в составе Комитета или в подведомственном ГКУ «Леноблтранс» нового подразделения, задачей которого будет являться контроль сбором платы за проезд, что также потребует значительных затрат бюджета (количество контроллеров в г. Санкт-Петербурге – не менее 200 человек);

2) «Нетто» контракты. Использование данной модели позволяет обеспечить перевозчику установленный уровень рентабельности выполнения работ по перевозке пассажиров и исключить факты полного или частичного отказа от выполнения транспортной работы. При данном подходе бюджет «доплачивает» перевозчику за работу на маршрутах, покрывая разницу между его расходами на организацию и выполнение транспортной работы и выручкой, полученной от продажи билетов, обеспечивая установленный Минтрансом России уровень рентабельности в 9,6 %. Отличительным недостатком модели, на сегодняшний день является недостаточная изученность фактического пассажиропотока на маршрутах и отсутствие достоверной информации о фактической плате за провоз пассажиров. В настоящее время данные сведения возможно получить только от перевозчиков. Проверить объективность информации не представляется возможным. Ключевыми плюсами обеих моделей является возможность установления требований к качеству выполнения работ вплоть до формы водителей, а также возложение обязанностей по передаче мониторинговых сведений, обеспечению безналичной оплаты проезда и требований по транспортной доступности маломобильных групп граждан – все эти расходы учитываются при расчете начальной (максимальной) цены контракта.

Выбор пути дальнейшего развития общественного транспорта в Ленинградской области требует тщательной проработки, в рамках которой необходимо оценить преимущества и недостатки обеих моделей, произвести подробные расчеты и найти оптимальную модель, которая позволит удовлетворить потребности населения в качественном и доступном транспорте, а также будет соответствовать возможностям бюджета Ленинградской области. Проведение такой работы не представляется возможной без внедрения на пассажирском транспорте комплекса цифровых сервисов, которые позволят организовать контроль работы перевозчиков, смоделировать различные варианты корректировки характеристик маршрутной сети и спрогнозировать ее дальнейшее развитие [6, 7]. Поэтому в целях объективности выбора транспортной модели общественного транспорта Ленинградской области необходимы:

1) развитие государственной информационной системы «Региональная информационно-навигационная система Ленинградской области», позволяющей сформировать «цифровой реестр маршрутов» – цифровую модель маршрутной сети со всеми ее характеристиками (трассы, расписание, количество рейсов, характеристиками подвижного состава и т.д.);

2) разработка комплекса оценочных моделей, оптимизирующей выбор подходов к определению начальной цены контракта на право осуществления пассажирских перевозок в зависимости от условий применения [8, 9].

Решение первой задачи во-многом лежит в технологической полноте, но решение второй задачи невозможно без разработки специальных математических моделей многокритериальной оптимизации

Теория

Математически задача многокритериальной оптимизации состоит в поиске вектора целевых переменных, удовлетворяющего наложенным ограничениям и оптимизирующего векторную функцию, элементы которой соответствуют целевым функциям. Эти функции образуют математическое описание удовлетворяемого критерия и, как правило, взаимно противоречат. Важно отметить, что многокритериальность является прямым следствием неполноты информации о ситуации, в которой приходится принимать решение [10]. Именно из-за отсутствия достаточно полной и достоверной информации оказывается невозможным однозначно определить цель проводимой операции, что и порождает вынужденное стремление оптимизировать принимаемое решение сразу по нескольким показателям. Поэтому, разработка количественных рекомендаций в многокритериальных ситуациях связана со значительными трудностями, которые носят объективный характер. В связи с этим интенсивно, в настоящее время, ведётся разработка методов векторной оптимизации, предназначенных для поиска оптимальных или целесообразных решений в многокритериальных задачах [11, 12].

Для применения того или иного математического аппарата необходимо классифицировать возможные степени градации неопределённости или классифицировать информационные ситуации в которых решается задача. Всю исходную информацию (количественные данные и др.) можно представить в виде взаимоисключающих состояний внешней среды (СВС) своих состояний Q . Под информационной ситуацией понимается определённая степень деградации неопределённости выбора средой своих состояний [6]. В качестве основных можно выделить следующие информационные ситуации:

1) первая (1) информационная ситуация характеризуется заданным распределением априорных вероятностей P_j на элементах q_j множества Q (в дискретной форме);

2) вторая (2) информационная ситуация характеризуется заданным распределением априорных вероятностей P_j с неизвестными параметрами на элементах q_j множества Q ;

3) третья (3) информационная ситуация характеризуется заданной системой предпочтений на априорных вероятностях P_j распределения множества Q ;

4) четвёртая (4) информационная ситуация характеризуется неизвестным распределением вероятностей P_j на элементах q_j из множества Q , с одной стороны и отсутствием активного противодействия среды с другой. Такое поведение среды эквивалентно поведению «пассивной среды», исследуемой в теории статистических решений «игр с природой». Надо отметить, что в данной ситуации незнание закона распределения не исключает возможность учитывать любые сведения об элементах состояния среды (различного рода ограничения, средние и дисперсионные оценки и др.);

5) пятая (5) информационная ситуация, характеризуется антагонистическими интересами среды;

6) шестая (6) информационная ситуация является смешанной и определяется наличием информационных элементов, характеризующих «промежуточное» поведение среды.

Результаты

Естественно, что информационные ситуации (1) и (2), могут быть сведены к первой. В случае информационной ситуации (4), если может быть определена вероятность состояний

«природы» третьей группы факторов, решение принимается в условиях риска. Далее должна выполняться задача его минимизации, то есть информационная ситуация также сводится к (1). Для (4), когда ситуация отсутствия информации или её недостаточности о среде может рассматриваться, как в условиях не противодействия со стороны «природы», но при этом её поведение неизвестно, то задача решается в условиях неопределённости. В таких задачах выбор решения зависит от состояния «природы», а математические модели называются «игры с природой». В этих случаях методы получаемых искомым решений должны основываться на правилах игр и статистических решений, либо могут быть получены с помощью методов векторной оптимизации. Информационная ситуация (5) требует привлечения теории игр. Информационная ситуация (6) требует привлечения теории принятия решений и теории игр. Наиболее сложной является ситуация, если информация о вероятностных характеристиках СВС отсутствует [13, 14]. При этом различают два вида ситуаций:

1) выбор вида обстановки осуществляется «разумным противником». Если стороны преследуют при этом противоположные интересы, то создаётся конфликтная ситуация, изучением которой занимается математическая теория игр. Выбор оптимального решения (оптимальной стратегии) в конфликтных ситуациях относительно не сложен именно в силу антагонизма сторон, участвующих в игре. Действительно, «разумный противник» не станет «играть в поддавки», а постарается принять самое лучшее для себя решение. Это обстоятельство позволяет при выборе решения каждой из сторон использовать принципы минимакса и максимина. Для определения оптимальных стратегий в конфликтных ситуациях теория игр располагает рядом мощных и весьма эффективных методов, широко освещённых в литературе;

2) в качестве противника выступает «природа». Как уже отмечалось, изучением ситуации такого типа занимается математическая теория игр с природой.

Обсуждение

Во-втором случае, как правило, применяют методы, основанные на использовании субъективных критериев [15]. Рассмотрим достоинства и недостатки некоторые из них.

«Принципу недостаточного основания» или равномерного распределения вероятностей, предложенного П-С Лапласом, субъективен потому, что вероятности СВС выводятся субъектом из незнания истинного положения. Однако закон равномерного распределения можно выводить из знания того, что одни исходы не имеют большей объективной возможности появления, чем другие, но не из незнания того, имеют одни исходы большую объективную возможность появления в сравнении с другими или нет.

Согласно «принципу крайней осторожности» (максиминный критерий А. Вальда) оптимальным следует признать действие, для которого показатель эффективности принимает наибольшее значение для самого неблагоприятного СВС.

Критерий минимаксного риска, предложенный Л. Сэвиджем также базируется на крайне осторожном выборе решения. Согласно этому критерию нужно выбирать действие, для которого величина риска принимает наименьшее значение при самой

Оба этих критерия (А. Вальда и Л. Сэвиджа) субъективны, потому что заведомо настраивают на самый неблагоприятный вариант обстановки, то есть применимы только для идеализированных практических решений. Но СВС существует объективно, безотносительно к выбираемым решениям.

Поэтому в общем случае нет оснований для крайнего пессимизма при выборе решения. Для того, чтобы занять более уравновешенную позицию применяется критерий, предложенный А. Гурвицем, оценочная функция которого находится между точками зрения предельного оптимизма и крайнего пессимизма. Данный критерий является производным от классических критериев. Согласно критерию А. Гурвица (критерий пессимизма-оптимизма) неразумно, приняв во внимание самый маленький выигрыш, не учитывать самый большой; следует субъективно ввести некоторый коэффициент α , а оптимальным считать действие, для которого выполняется условие. Нетрудно увидеть, что этот критерий при $\alpha = 0$ превращается в критерий абсолютного оптимиста, при $\alpha = 1$ совпадает с максиминным критерием

А. Вальда, при $0 < \alpha < 1$ образует смесь из пессимистической и крайне оптимистической оценки удачи в предстоящих действиях.

Существует ещё целый ряд «производных критериев», достаточно широко представленных в специальной литературе: критерий Ходжа-Лемана, критерий Гермейера, BL (MM)-критерий и др [16]. Выбор любого из рассмотренных четырёх критериев не поддаётся объективному обоснованию, а действия, рекомендуемые этими субъективными критериями, часто не совпадают.

Выводы

Основу управления организацией пассажирских перевозок в Ленинградской должны составить методы определения множества эффективных планов (множества Парето), позволяющие при принятии решения, не рассматривать все неконкурентоспособные варианты действий, а сосредоточить свое внимание лишь на самых целесообразных [17, 18]. Иначе говоря, использование этих методов предоставляет объективную возможность для субъективного выбора решения. Метод определения множества Парето в многокритериальных задачах не претендует в общем случае на рекомендацию какого-либо одного действия, а направлен на максимальное снятие неопределенности, выявление наиболее критичных параметров и выработку требований по уточнению информации о них (критериях эффективности) [19, 20]. В этом проявляется тесная связь между определением множества Парето и методом теории принятия решений в условиях недостаточности информации, направленными на максимальное снятие неопределенности и уточнение информации о вероятностях состояний среды применения метода. Поэтому для того, чтобы увеличить надёжность искомых решений в многокритериальных транспортных задачах целесообразно формирование аналитического аппарата на базе методов линейного программирования получения множества Парето, позволяющего вырабатывать оптимальные решения при наличии минимальных сведений о состоянии практической внешней среды в условиях многокритериальности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев К.П., Терентьев В.В., Шемякин А.В. Проведение мероприятий для повышения качества обслуживания пассажиров // Поколение будущего: Взгляд молодых ученых – 2017: Сборник научных статей 6-й Международной молодежной научной конференции. - 2017. - С. 33-35.
2. Аникин Н.В., Горячкина И.Н., Мартынушкин А.Б., Подъяблонский А.В., Терентьев В.В. Анализ методик оценки социально-экономического эффекта пассажирских перевозок автомобильным транспортом // Транспортное дело России. - 2019. - №4. - С. 66-70.
3. Киселев В.А., Шемякин А.В., Полищук С.Д., Терентьев В.В., Андреев К.П., Чурилов Д.Г. Оптимизация транспортной инфраструктуры городов // Транспортное дело России. - 2018. - №5. - С. 138-140.
4. Коньчева Н.А., Мартынушкин А.Б., Андреев К.П., Терентьев В.В. Методика оценки уровня качества автотранспортного обслуживания // Бюллетень транспортной информации. - 2019. - №6(288). - С. 22-26.
5. Коньчева Н.А. Управление эффективностью и качеством пассажирских автоперевозок в регионе: дисс ... канд экон. наук. – Тамбов, 2005. – 171 с.
6. Мартынушкин А.Б. Методика расчета интегрального показателя качества обслуживания населения автомобильным пассажирским транспортом // Современные автомобильные материалы и технологии (САМИТ - 2019): сборник статей XI Международной научно-технической конференции. - Курск - 2019. - С. 199-203.
7. Терентьев А.С., Ремболович Г.К., Шемякин А.В., Мартынушкин А.Б., Матюнина Е.А., Алексахина К.С. Метод экономической оценки качества обслуживания населения пассажирским транспортом // TRANSPORT BUSINESS IN RUSSIA. - №5. - 2019. - С. 111-113.
8. Чеканов, О.С. Экономическая оценка выполнения перевозок пассажиров / О.С. Чеканов, А.Б. Мартынушкин // Актуальные вопросы применения инженерной науки: Материалы международной студенческой научно-практической конференции. - Рязань: РГТУ, 2019. - С. 306-312.
9. Экономическое обоснование эффективности и качества пассажирских перевозок автомобильным транспортом: Монография / К.П. Андреев, Н.В. Бышов, С.Н. Борячев, И.Н. Горячкина, Н.А. Коньчева, А.Б. Мартынушкин, Т.В. Мелькумова, В.В. Терентьев, А.В. Шемякин.
10. Прудовский Б.Д. Методы решения многокритериальных автотранспортных задач // Вестник гражданских инженеров. – СПб: СПбГАСУ, 2015. – 2(49). - С.154-159.
11. Штойер Р. Многокритериальная оптимизация: теория, вычисления, приложения. - М.: Наука, 1982, – С. 14-29, 146-258.

12. Черноруцкий И.Г. Методы принятия решений. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.
13. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. - Пер. с англ. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. - 798 с.
14. Ногин В.Д., Протодяконов И.О., Евлампиев И.И. Основы теории оптимизации. - М.: Высшая школа, 1986. - 383 с.
15. Мушик Э., Мюллер П. Методы принятия технических решений. - Пер. с нем. – М.: Мир, 1990. - 208 с.
16. Антонова А.С., Аксёнов К.А. Многокритериальное принятие решений в условиях риска на основе интеграции мультиагентного, имитационного, эволюционного моделирования и численных методов [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. – 2012. – №4(2). - Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1466>.
17. Таха, Хемди А. Введение в исследование операций. – М.: ИД «Вильямс», 2005. – 912 с.
18. Терентьев А.В., Прудовский Б.Д. Методы определения множества Парето в некоторых задачах линейного программирования // Записки Горного института. – Т. 211. – СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». - 2015. – С. 89-90.
19. Подопрigора Н.В. Системный подход в информационном обеспечении системы «УДД-ТС-Д-ВС» // Мир транспорта и технологических машин – 2022. – №2(77). – С.70-75.
20. Джарратано Д., Райли Г. Экспертные системы: принципы разработки и программирование. - 4-е изд.: Пер. с англ. - М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2007. - 1152 с.

Присяжнюк Михаил Сергеевич

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес: 190005, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Курляндская, д. 2/5
Соискатель
E-mail: msprisyazhnuk@yandex.ru

Подопрigора Николай Владимирович

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес: 190005, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Курляндская, д. 2/5
К.т.н., доцент кафедры наземных транспортно-технологических машин
E-mail: n.v.podoprigora@gmail.com

Терентьев Алексей Вячеславович

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес: 190005, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Курляндская, д. 2/5
Д.т.н., профессор кафедры транспортных систем
E-mail: aleksej.terentev.67@bk.ru

M.S. PRYSYAZHNYUK, N.V. PODOPRIGORA, A.V. TERENTYEV

SELECTION OF EFFECTIVE TOOLS FOR ORGANIZING PASSENGER TRANSPORTATION IN THE LENINGRAD REGION

Abstract. *The article considers problems and possible ways to solve them in the current system of organizing passenger transportation by public transport in the Leningrad Region. Existing models of transport services in today's difficult conditions of dynamic changes in passenger traffic, increasing the cost of fuel and lubricants and spare parts do not allow the carrier to ensure timely updates of rolling stock and force them to look for ways to reduce material costs to the detriment of the quality of passenger service on routes. The system of organization of passenger transportation in the Leningrad region is complex and multi-level, so its effective management is impossible without science-based tools for management decisions.*

Keywords: *passenger transportation, transport model, quality of passenger service, transportation costs, multi-criteria model*

BIBLIOGRAPHY

1. Andreev K.P., Terent'ev V.V., Shemyakin A.V. Provedenie meropriyatij dlya povysheniya kachestva ob-sluzhivaniya passazhirov // Pokolenie budushchego: Vzgljad molodykh uchenykh - 2017: Sbornik nauchnykh statey 6-y Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii. - 2017. - S. 33-35.

2. Anikin N.V., Goryachkina I.N., Martynushkin A.B., Pod'yablonskiy A.V., Terent'ev V.V. Analiz metodik otsenki sotsial'no-ekonomicheskogo effekta passazhirskikh perevozk avtomobil'nym transportom // Transportnoe delo Rossii. - 2019. - №4. - S. 66-70.
3. Kiselev V.A., Shemyakin A.V., Polishchuk S.D., Terent'ev V.V., Andreev K.P., Churilov D.G. Optimizatsiya transportnoy infrastruktury gorodov // Transportnoe delo Rossii. - 2018. - №5. - S. 138-140.
4. Konycheva N.A., Martynushkin A.B., Andreev K.P., Terent'ev V.V. Metodika otsenki urovnya kachestva avtotransportnogo obsluzhivaniya // Byulleten' transportnoy informatsii. - 2019. - №6(288). - S. 22-26.
5. Konycheva N.A. Upravlenie effektivnost'yu i kachestvom passazhirskikh avtoperevozk v regione: diss ... kand ekon. nauk. - Tambov, 2005. - 171 s.
6. Martynushkin A.B. Metodika rascheta integral'nogo pokazatelya kachestva obsluzhivaniya naseleniya avtomobil'nym passazhirskim transportom // Sovremennye avtomobil'nye materialy i tekhnologii (SAMIT - 2019): sbornik statey XI Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. - Kursk - 2019. - S. 199-203.
7. Terent'ev A.S., Rembalovich G.K., Shemyakin A.V., Martynushkin A.B., Matyunina E.A., Aleksakhina K.S. Metod ekonomicheskoy otsenki kachestva obsluzhivaniya naseleniya passazhirskim transportom // TRANSPORT BUSINESS IN RUSSIA. - №5. - 2019. - S. 111-113.
8. Chekanov, O.S. Ekonomicheskaya otsenka vypolneniya perevozk passazhirov / O.S. Chekanov, A.B. Martynushkin // Aktual'nye voprosy primeneniya inzhenernoy nauki: Materialy mezhdunarodnoy studencheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Ryazan': RGATU, 2019. - S. 306-312.
9. Ekonomicheskoe obosnovanie effektivnosti i kachestva passazhirskikh perevozk avtomobil'nym transportom: Monografiya / K.P. Andreev, N.V. Byshov, S.N. Borychev, I.N. Goryachkina, N.A. Konycheva, A.B. Martynushkin, T.V. Mel'kumova, V.V. Terent'ev, A.V. Shemyakin.
10. Prudovskiy B.D. Metody resheniya mnogokriterial'nykh avtotransportnykh zadach // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. - SPb: SPbGASU, 2015. - 2(49). - S.154-159.
11. Shtoyer R. Mnogokriterial'naya optimizatsiya: teoriya, vychisleniya, prilozheniya. - M.: Nauka, 1982, - S. 14-29, 146-258.
12. Chernorutskiy I.G. Metody prinyatiya resheniy. - SPb.: BHV-Peterburg, 2005. - 416 s.
13. Pegat A. Nechetkoe modelirovanie i upravlenie. - Per. s angl. - M.: BINOM. Laboratoriya znaniy, 2009. - 798 s.
14. Nogin V.D., Protod'yakonov I.O., Evlampiev I.I. Osnovy teorii optimizatsii. - M.: Vysshaya shkola, 1986. - 383 s.
15. Mushik E., Myuller P. Metody prinyatiya tekhnicheskikh resheniy. - Per. s nem. - M.: Mir, 1990. - 208 s.
16. Antonova A.S., Aksionov K.A. Mnogokriterial'noe prinyatie resheniy v usloviyakh riska na osnove integratsii mul'tiagentnogo, imitatsionnogo, evolyutsionnogo modelirovaniya i chislennykh metodov [Elektronnyy resurs] // Inzhenernyy vestnik Dona. - 2012. - №4(2). - Rezhim dostupa: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1466>.
17. Takha, Hemdi A. Vvedenie v issledovanie operatsiy. - M.: ID «Vil'yams», 2005. - 912 s.
18. Terent'ev A.V., Prudovskiy B.D. Metody opredeleniya mnozhestva Pareto v nekotorykh zadachakh lineynogo programmirovaniya // Zapiski Gornogo instituta. - T. 211. - SPb.: Natsional'nyy mineral'no-syr'evoy universitet «Gornyy». - 2015. - S. 89-90.
19. Podoprigora N.V. Sistemnyy podkhod v informatsionnom obespechenii sistemy «UDD-TS-D-VS» // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin - 2022. - №2(77). - S.70-75.
20. Dzharatano D., Rayli G. Ekspertnye sistemy: printsipy razrabotki i programmirovaniye. - 4-e izd.: Per. s angl. - M.: OOO «I.D. Vil'yams», 2007. - 1152 s.

Prisyazhnyuk Mikhail Sergevich

St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

Address: 190005, Russia, St. Petersburg, Kurlyandskaya st., 2/5

Applicant

Email: msprisyazhnuk@yandex.ru

Podoprigora Nikolay Vladimirovich

St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

Address: 190005, Russia, St. Petersburg, Kurlyandskaya st., 2/5

Candidate of technical sciences

Email: n.v.podoprigora@gmail.com

Terentyev Alexey Vyacheslavovich

St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

Address: 190005, Russia, St. Petersburg, Kurlyandskaya st., 2/5

Doctor of technical sciences

Email: aleksej.terentev.67@bk.ru

Научная статья

УДК 656.13

doi:10.33979/2073-7432-2023-4-1(83)-67-73

О.Ю. БУЛАТОВА, В.В. ЗЫРЯНОВ

ЗАДАЧИ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ИНЦИДЕНТОВ ВО ВРЕМЯ ПРОВЕДЕНИЯ ГОРОДСКИХ МАССОВЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Аннотация. Проведение городских массовых мероприятий подразумевает большое количество участников на определенной территории, что повышает риск возникновения различных непредвиденных ситуаций (инцидентов). Среди наиболее вероятных типов инцидентов, возможных при проведении городских массовых мероприятий выделяют техногенные и бытовые пожары, панику, давку, блокирование дорог и объектов улично-дорожной сети, групповые нарушения общественного порядка, дорожно-транспортные происшествия, угрозы террористических актов. Перечисленные выше инциденты имеют воздействие на поведение транспортных потоков. В данной статье рассматриваются задачи организации дорожного движения в условиях непредвиденных ситуаций при проведении городских массовых мероприятий, для наиболее быстрого и эффективного реагирования и ликвидации последствий инцидентов.

Ключевые слова: организация дорожного движения, безопасность дорожного движения, дорожно-транспортные происшествия, дорожные инциденты, городские массовые мероприятия

Введение

Под массовыми мероприятиями рассматриваются мероприятия, которые привлекают большое количество различных участников, зрителей, обслуживающего персонала на конкретную территорию. Можно выделить следующие типы массовых мероприятий: общественно-политические, культурно-зрелищные, спортивные, комплексные (иные) [1, 2].

Общественно-политические массовые мероприятия представляют собой митинги, шествия, массовые собрания граждан и т.д. Подобные мероприятия характеризуются высокими требованиями к обеспечению безопасности проведения мероприятия.

Спортивные массовые мероприятия включают в себя олимпиады, чемпионаты, различные матчи и т.д. Этот тип мероприятий характеризуется высокими требованиями к обеспечению безопасности как во время проведения мероприятия, так и после их завершения.

К культурно-массовым мероприятиям относятся фестивали, концерты, карнавалы и т.д. Данные мероприятия характеризуются большим количеством участников, которые представляют собой экспрессивную толпу, возможно, употребляющую алкоголь. Таким образом, требования к обеспечению безопасности данного типа мероприятия также очень высоки.

К иным массовым мероприятиям относятся ярмарки, парады, многолюдные процессии. Зачастую такие мероприятия включают в себя перемещение должностных лиц, что требует особую организацию дорожного движения.

Поскольку любой тип массового мероприятия характеризуется большим количеством участников, возрастает риск возникновения непредвиденных ситуаций, которые ведут к дорожным инцидентам. Дорожный инцидент (инцидент) – непланируемое событие на дороге, которое оказывает негативное влияние на транспортный поток, пропускную способность или нормальные условия эксплуатации автомобильной дороги [3]. Для обеспечения безопасности и оперативного реагирования на непредвиденные ситуации, необходимо комплексное использование сил и средств служб МЧС.

Большое скопление людей на ограниченной территории может представлять угрозу, что подтверждают такие события как: давка в 1957 году в Москве после товарищеского матча

между сборной СССР и канадской командой (21 человек погиб, 25 получило ранения); взрыв в Манчестере на концерте Арианы Гранде в 2017 году (23 человека погибло, 120 получили ранения); стрельба в Лас-Вегасе в 2017 году во время фестиваля кантри-музыки «Route 91» (61 человек погиб, 546 получили ранения); Бостонский марафон в 2013 году (3 человека погибло, 280 получили ранения) [4-7].

Материал и методы

Вероятные риски при проведении городских массовых мероприятий указаны в методических рекомендациях по управлению рисками в городских зонах отдыха и при проведении массовых мероприятий на открытых площадках, разработанных Министерством Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. В данных рекомендациях наиболее вероятными рисками при проведении различных видов массовых мероприятий являются техногенные и бытовые пожары, паника, давка, блокирование дорог и объектов улично-дорожной сети, групповые нарушения общественного порядка, ДТП, угрозы террористических актов.

Для обеспечения безопасности организации и проведения городских массовых мероприятий, необходима интеграция различных заинтересованных сторон: организаторов мероприятия, органов, отвечающих за безопасность и обеспечивающих охрану граждан (рис. 1).

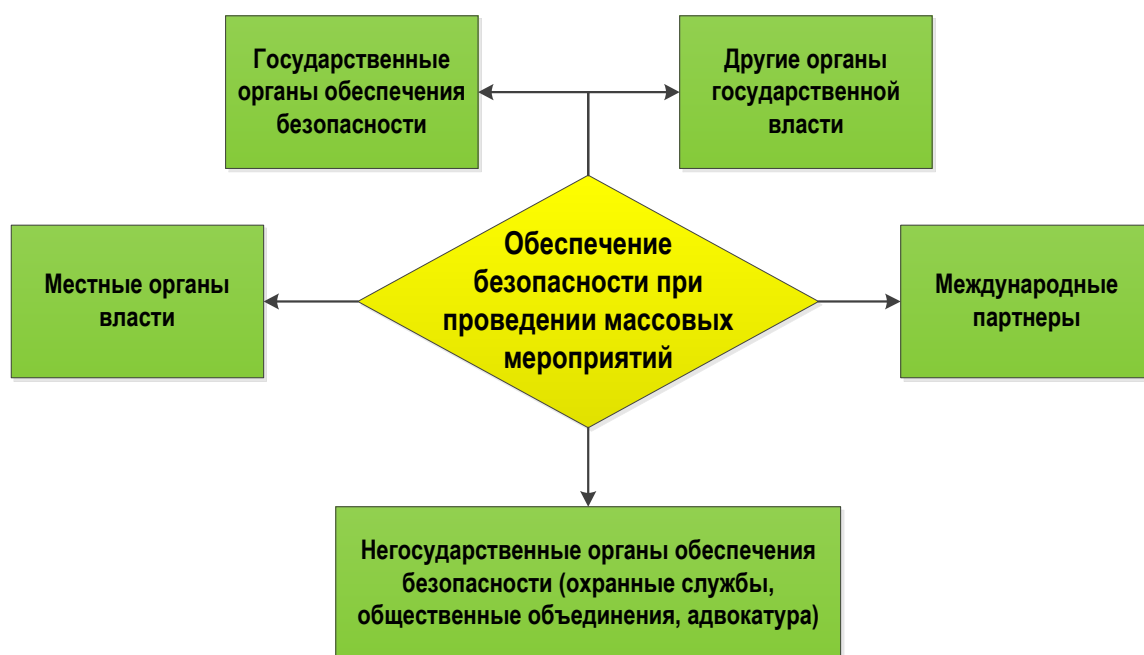


Рисунок 1 - Взаимодействие различных служб с целью обеспечения безопасности проведения массовых мероприятий

Все типы инцидентов имеют прямое влияние на дорожное движение. Таким образом, при проведении массовых мероприятий также необходимо запланированное и скоординированное использование всех людских и институциональных ресурсов с целью уменьшения негативных последствий инцидентов и обеспечения безопасности водителей, работников и групп реагирования. Также стоит учитывать, что поведение водителей должно рассматриваться как наиболее важный фактор, влияющий на вероятность дорожно-транспортных происшествий.

Инциденты оказывают негативное воздействие на поведение транспортного потока. Такие ситуации приводят к задержкам в движении транспортных средств на 50 % и более [8-13].

Риск возникновения непредвиденных ситуаций на автомобильном транспорте зависит от плотности дорожной сети, интенсивности дорожного движения и человеческих факторов (нарушение правил дорожного движения водителями и пешеходами, паника, хаотичные

действия под влиянием инцидента и т.д.), а также климатических условий, сезонности и других обстоятельств.

Управление дорожным движением в условиях инцидентов состоит из следующих фаз [14-18]:

- 1) обнаружение инцидента;
- 2) верификация инцидента;
- 3) первичное реагирование на инцидент;
- 4) управление инцидентом;
- 5) восстановление транспортной инфраструктуры;
- 6) возвращение к нормальному функционированию транспортной инфраструктуры.

Временные промежутки реагирования на возникновение инцидента и устранения препятствий в организации дорожного движения являются важнейшими этапами, влияющими на продолжительность транспортных задержек в период возникновения чрезвычайных ситуаций. Продолжительность влияния дорожного инцидента на поведения транспортных потоков определяется как время от момента возникновения препятствий в дорожном движении, связанными с инцидентом до момента восстановления штатного дорожного движения.

Необходимо выделять следующие задачи управления транспортными потоками при возникновении дорожных инцидентов:

- 1) обеспечение приоритетного доступа транспорта специальных служб в зону инцидента;
- 2) обеспечение безопасности движения экстренных служб и других участников дорожного движения;
- 3) обеспечение эвакуации пострадавших;
- 4) ограничение влияния чрезвычайной ситуации на поведение транспортных потоков;
- 5) возвращение к нормальным условиям в кратчайшие сроки после устранения причин ЧС;
- 6) контроль поврежденных в результате дорожного инцидента транспортных средств, грузов и инфраструктуры.

Сервисы интеллектуальных транспортных систем позволяют повысить безопасность дорожного движения по автомобильным дорогам в период дорожных инцидентов, предоставляя доступ к обмену данными для наземных транспортных средств, автомобильную связь, информационную безопасность, протоколы обмена данными.

Расчет

В ходе исследования было выделено три группы компонентов в области управления дорожным движением: он-лайн сервисы, офф-лайн сервисы и разрабатываемые сервисы на базе полученного опыта (табл. 1).

Таблица 1 – Сервисы в управлении дорожным движением при возникновении ЧС

Он-лайн сервисы	Офф-лайн сервисы	Разработка сервисов
<ul style="list-style-type: none"> - координирование; - кооперативные сервисы; - коммуникационные сервисы; - контроль; - доступ к данным; - оборудование 	<ul style="list-style-type: none"> - анализ и оценка ситуации; - проведение опросов; - обучение сотрудников служб реагирования; - разработка сценариев реагирования на возникновение инцидента; - разработка показателей эффективности; - информационные услуги 	<ul style="list-style-type: none"> - разработка стратегий оптимизации реагирования на дорожный инцидент; - разработка интеллектуальных сервисов реагирования на дорожный инцидент; - корректировка сценариев с учетом нового опыта

Рассмотрим различные уровни сервисов в управлении дорожным движением при возникновении дорожных инцидентов (табл. 2):

Таблица 2 – Уровни сервисов в управлении дорожным движением при возникновении дорожных инцидентов

Компонент управления дорожным движением при возникновении дорожного инцидента	Уровень сервиса		
	Базовый	Средний	Углубленный
Координация и кооперация	Индивидуальные сервисы информирования	Частично кооперативные системы информирования	Кооперативные системы информирования
Коммуникационные сервисы	Реализующиеся посредством смартфона	Частично специализированные сервисы	Специализированные сервисы
Обнаружение и верификация дорожного инцидента	Человеческие ресурсы, вызов службы спасения	Данные, полученные от камер видеонаблюдения	Автоматизированное обнаружение инцидентов
Управление дорожным движением органами власти	Передача информации посредством СМИ, восстановительные работы	Дорожная информация и регулирование на месте происшествия	Оперативное планирование дорожного движения, работа ГИБДД
Координирование движения транспортных потоков	Работа специализированных служб	Работа экстренных служб	Работа ГИБДД
Оповещение участников дорожного движения	Инструктаж участников дорожного движения о вызове экстренных служб	Сервисы информирования о поведении участников дорожного движения	Рекомендации по дорожному поведению в условиях ЧС

При управлении дорожным движением в период возникновения дорожного инцидента становится важным интегрировать действия органов власти, экстренных служб, операторов, обеспечить широкий охват информирования участников дорожного движения [19-22].

Решения, принимаемые для обеспечения безопасности граждан в период проведения городских массовых мероприятий должны базироваться на таких принципах как: приоритет безопасности человеческой жизни, оправданность спасательных операций, оценка реальных угроз, оптимизация ресурсов на работу в условиях инцидентов.

Результаты и обсуждение

Проведение городских массовых мероприятий всегда имеет высокий риск возникновения непредвиденных ситуаций различного характера. Инциденты критично влияют на работу транспортных систем, увеличивая количество задержек на маршруте и плотность дорожного движения. Основной задачей организаторов мероприятия является найти эффективный способ управления дорожным движением в условиях непредсказуемости поведения транспортных потоков и большого скопления людей. Существующая система предоставления информации участникам дорожного движения не всегда имеет согласованность между различными этапами. Информационные системы в транспортной инфраструктуре должны обеспечивать интеграцию управления дорожным движением, геоинформационной базы и ликвидации последствий инцидентов. Информационные системы должны решать такие задачи как обмен информацией между участниками дорожного движения, между государственными и частными дорожными компаниями и аварийными службами, а также обеспечивать предоставление единого приложения обмена мгновенными сообщениями в транспортной инфраструктуре.

Выводы

В данной статье рассматривается негативное влияние непредвиденных дорожных ситуаций на поведение транспортных потоков. Выявлены следующие задачи управления дорожным движением при возникновении дорожных инцидентов: обеспечение безопасности движения экстренных служб и других участников дорожного движения; обеспечение безопасности пострадавших; ограничение влияния инцидента на поведение транспортных

потоков; обеспечение условий дорожного движения в штатном режиме в кратчайшие сроки после возникновения инцидента; контроль поврежденных в результате инцидента транспортных средств, грузов и инфраструктуры. Для обеспечения безопасности организации и проведения городских массовых мероприятий, необходима интеграция различных заинтересованных сторон: организаторов мероприятия, органов, отвечающих за безопасность и обеспечивающих охрану граждан.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Amini S., Busch F. Traffic Management for Major Events OTS 1.0: Optimiertes Transportsystem basierend auf selbstfahrenden Elektrofahrzeugen [Электронный ресурс] / Optimized transport system based on autonomous electric vehicles View project UR:BAN View project. – 2016. – Режим доступа: <https://doi.org/10.14459/2016md1324021>
2. Shen L., Lu J., Deng L., Li M. Emergency Resource Location and Allocation in Traffic Contingency Plan for Sports Mega-Event. Advances in Civil Engineering [Электронный ресурс] / 2021. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1155/2021/6614338>
3. Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий Главное управление МЧС России по г. Москве: Методические рекомендации по управлению рисками в городских зонах отдыха и при проведении массовых мероприятий на открытых площадках, 2015.
4. Müller M., Wolfe S.D., Gogishvili D., Gaffney C., Hug M., Leick A. The mega-events database: systematising the evidence on mega-event outcomes [Электронный ресурс] / In Leisure Studies. - Vol. 41. – 2022. - P. 437-445. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1080/02614367.2021.1998835>
5. Hu Z., Zhou J., Zhang E. Improving Traffic Safety through Traffic Accident Risk Assessment. Sustainability (Switzerland). - №15(4). – 2023. - Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/su15043748>
6. Cortés C.E., Stefoni B. Trajectory Simulation of Emergency Vehicles and Interactions with Surrounding Traffic // Journal of Advanced Transportation. - 2023. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1155/2023/5995950>
7. Булатова О.Ю. Применение элементов интеллектуальных транспортных систем при организации транспортно-логистического обслуживания во время проведения массовых городских мероприятий // Дороги и мосты. – 2022. – №1(47). – С. 294-304.
8. 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.
9. 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.
10. Новиков А.Н., Шевцова А.Г. Безопасное и эффективное управление транспортными потоками в городской транспортной системе. – Москва: Академия, 2022. – 205 с.
11. Petrova E. Natural hazard impacts on transport infrastructure in Russia [Электронный ресурс] / Natural Hazards and Earth System Sciences. – Vol. 20. – 2020. - P. 1969-1983. – Режим доступа: <https://doi.org/10.5194/nhess-20-1969-2020>.
12. Pechatnova E.V., Nechaev K.S. Factors for traffic accident-prone section formation on federal roads. The Russian Automobile and Highway Industry Journal. - №20(1). - 2023. - P. 92-101. – Режим доступа: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-1-92-101>.
13. Отраслевой дорожный методический документ методические рекомендации по введению временных ограничений или прекращению движения транспортных средств по автомобильным дорогам общего пользования федерального значения в целях обеспечения безопасности дорожного движения. - Федеральное дорожное агентство (РОСАВТОДОР). - Москва, 2017.
14. Halbwirth S., Toohey K. The Olympic Games and knowledge management: A case study of the Sydney organising committee of the Olympic Games [Электронный ресурс] / European Sport Management Quarterly. - №1(2). - 2001. – P. 91-111. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1080/16184740108721890>
15. Зедгенизов А.В. Оптимизация планирования и организации перевозок населения при обслуживании центров массового тяготения урбанизированных территорий на основе формирования транспортного спроса / Под общей редакцией А.Н. Новикова // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы VI Международной научно-практической конференции. – Орёл: Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева. - 2020. – С. 20-26.
16. 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.
17. Дорохин С.В., Артемов А.Ю. Развитие методов управления транспортными потоками в малых и средних городах // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – №1-1(80). – С. 60-67. – DOI

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

18. Steenbruggen J., Nijkamp P. Traffic Incident Management in Europe-Guide for best practices Regional economic modelling View project The Role of Small and Medium Towns (SMTs) in the Development Processes View project [Электронный ресурс] / Traffic Incident Management in Europe-Guide for best practices. – Режим доступа: <https://www.researchgate.net/publication/261633466>

19. Еремин С.В., Новиков А.Н., Фроленкова Л.Ю. и др. Совершенствование дорожного движения в городе Красноярске на основе интеллектуальных транспортных технологий // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – №1-1(80). – С. 76-86. – DOI 10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-76-86.

20. Gerlach J. Fachliche Aufbereitung von Ursachen der tragischen Ereignisse bei der Loveparade Duisburg [Электронный ресурс] / Erste überarbeitete Fassung. – 2021. – Режим доступа: https://www.svpt.uni-wuppertal.de/fileadmin/bauing/svpt/Loveparade_2010/Loveparade_Aufarbeitung_Gerlach.pdf

21. ElSahly O., Abdelfatah A.A Systematic Review of Traffic Incident Detection Algorithms [Электронный ресурс] / In Sustainability (Switzerland). - Vol. 14. - 2022. – Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/su142214859>

22. Ben Hamida E., Noura H., Znaidi W. Security of cooperative intelligent transport systems [Электронный ресурс] / Standards, threats analysis and cryptographic countermeasures. - №4(3). - 2015. – P. 380-423. – Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/electronics4030380>

Булатова Ольга Юрьевна

Донской государственный технический университет

Адрес: 344002, Россия, Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162

К.т.н., доцент кафедры организации перевозок и дорожного движения

E-mail: mip.rnd@yandex.ru

Зырянов Владимир Васильевич

Донской государственный технический университет

Адрес: 344002 г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162

Д.т.н., заведующий кафедрой организации перевозок и дорожного движения

E-mail: opdrgrsu@mail.ru

O.YU. BULATOVA, V.V. ZYRYANOV

TRAFFIC MANAGEMENT TASKS IN CASE OF EMERGENCY SITUATIONS DURING MASS URBAN EVENTS

Abstract. *Mass urban events imply a large number of participants in a certain area, which increases the risk of emergency situations. Among the most likely types of emergencies possible during mass urban events are: fires, panic, stampede, blocking of roads and objects of the road network, group violations of public order, traffic accidents, terrorist acts. The emergencies listed above have an impact on the traffic flows behavior. This article discusses the tasks of traffic management in an emergency during mass urban events, for the fastest and most effective response and elimination of the emergency consequences.*

Keywords: *traffic management, road safety, traffic accidents, emergencies, mass urban events*

BIBLIOGRAPHY

1. Amini S., Busch F. Traffic Management for Major Events OTS 1.0: Optimiertes Transportsystem basierend auf selbstfahrenden Elektrofahrzeugen [Elektronnyy resurs] / Optimized transport system based on autonomous electric vehicles View project UR: BAN View project. - 2016. - Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.14459/2016md1324021>

2. Shen L., Lu J., Deng L., Li M. Emergency Resource Location and Allocation in Traffic Contingency Plan for Sports Mega-Event. Advances in Civil Engineering [Elektronnyy resurs] / 2021. - Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.1155/2021/6614338>

3. Ministerstvo Rossiyskoy Federatsii po delam grazhdanskoy oborony, chrezvychaynym situatsiyam i likvidatsii posledstviy stikhiynykh bedstviy Glavnoe upravlenie MCHS Rossii po g. Moskve: Metodicheskie rekomendatsii po upravleniyu riskami v gorodskikh zonakh otdykha i pri provedenii massovykh meropriyatiy na otkrytykh ploshchadkakh, 2015.

4. Moller M., Wolfe S.D., Gogishvili D., Gaffney C., Hug M., Leick A. The mega-events database: systematising the evidence on mega-event outcomes [Elektronnyy resurs] / In Leisure Studies. - Vol. 41. - 2022. - R. 437-445. - Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.1080/02614367.2021.1998835>

5. Hu Z., Zhou J., Zhang E. Improving Traffic Safety through Traffic Accident Risk Assessment.

- Sustainability (Switzerland). - №15(4). - 2023. - Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.3390/su15043748>
6. Corts C.E., Stefoni B. Trajectory Simulation of Emergency Vehicles and Interactions with Surrounding Traffic // Journal of Advanced Transportation. - 2023. - Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.1155/2023/5995950>
7. Bulatova O.Yu. Primenenie elementov intellektual'nykh transportnykh sistem pri organizatsii transportno-logisticheskogo obsluzhivaniya vo vremya provedeniya massovykh gorodskikh meropriyatiy // Dorogi i mosty. - 2022. - №1(47). - S. 294-304.
8. 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.
9. 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. - ISBN 978-5-361-00908-4.
10. Novikov A.N., Shevtsova A.G. Bezopasnoe i effektivnoe upravlenie transportnymi potokami v gorodskoy transportnoy sisteme. - Moskva: Akademiya, 2022. - 205 s.
11. Petrova E. Natural hazard impacts on transport infrastructure in Russia [Elektronnyy resurs] / Natural Hazards and Earth System Sciences. - Vol. 20. - 2020. - R. 1969-1983. - Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.5194/nhess-20-1969-2020>.
12. Pechatnova E.V., Nechaev K.S. Factors for traffic accident-prone section formation on federal roads. The Russian Automobile and Highway Industry Journal. - №20(1). - 2023. - R. 92-101. - Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-1-92-101>.
13. Otralevoy dorozhnyy metodicheskii dokument metodicheskie rekomendatsii po vvedeniyu vremennykh ogranicheniy ili prekrashcheniyu dvizheniya transportnykh sredstv po avtomobil'nykh dorogam obshchego pol'zovaniya federal'nogo znacheniya v tselyakh obespecheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya. - Federal'noe dorozhnoe agentstvo (ROSAVTODOR). - Moskva, 2017.
14. Halbwirth S., Toohey K. The Olympic Games and knowledge management: A case study of the Sydney organising committee of the Olympic Games [Elektronnyy resurs] / European Sport Management Quarterly. - №1(2). - 2001. - R. 91-111. - Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.1080/16184740108721890>
15. Zedgenizov A.V. Optimizatsiya planirovaniya i organizatsii perevozok naseleniya pri obsluzhivanii tsentrov massovogo tyagoteniya urbanizirovannykh territoriy na osnove formirovaniya transportnogo sprosa / Pod obshchey redaktsiei 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. 20-26.
16. 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.
17. Dorokhin S.V., Artemov A.Yu. Razvitie metodov upravleniya transportnymi potokami v mal'nykh i srednikh gorodakh // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2023. - №1-1(80). - S. 60-67. - DOI 10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-60-67.
18. Steenbruggen J., Nijkamp P. Traffic Incident Management in Europe-Guide for best practices Regional economic modelling View project The Role of Small and Medium Towns (SMTs) in the Development Processes View project [Elektronnyy resurs] / Traffic Incident Management in Europe-Guide for best practices. - Rezhim dostupa: <https://www.researchgate.net/publication/261633466>
19. Eremin S.V., Novikov A.N., Frolenkova L.Yu. i dr. Sovershenstvovanie dorozhnogo dvizheniya v gorode Krasnoyarske na osnove intellektual'nykh transportnykh tekhnologiy // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2023. - №1-1(80). - S. 76-86. - DOI 10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-76-86.
20. Gerlach J. Fachliche Aufbereitung von Ursachen der tragischen Ereignisse bei der Loveparade Duisburg [Elektronnyy resurs] / Erste bearbeitete Fassung. - 2021. - Rezhim dostupa: https://www.svpt.uni-wuppertal.de/fileadmin/bauing/svpt/Loveparade_2010/Loveparade_Aufarbeitung_Gerlach.pdf
21. ElSahly O., Abdelfatah A.A Systematic Review of Traffic Incident Detection Algorithms [Elektronnyy resurs] / In Sustainability (Switzerland). - Vol. 14. - 2022. - Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.3390/su142214859>
22. Ben Hamida E., Noura H., Znaidi W. Security of cooperative intelligent transport systems [Elektronnyy resurs] / Standards, threats analysis and cryptographic countermeasures. - №4(3). - 2015. - R. 380-423. - Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.3390/electronics4030380>

Bulatova Olga Yurievna
Don State Technical University
Address: 344011, Russia, Rostov-on-Don,
Sotsialisticheskaya str., 162
Candidate of technical sciences
E-mail: mip.rnd@yandex.ru

Zyryanov Vladimir Vasilievich
Don State Technical University
Address: 344011, Russia, Rostov-on-Don,
Sotsialisticheskaya str., 162
Doctor of technical sciences
E-mail: opdrsgsu@mail.ru

Научная статья

УДК 656.13.072:338

doi:10.33979/2073-7432-2023-4-1(83)-74-80

А.Н. НОВИКОВ, С.А. ЖЕСТКОВА

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ЦЕНТРА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНЫХ ПОТОКОВ

Аннотация. Рассмотрены методические аспекты касающиеся определения координат центра распределения материальных потоков между базами. Использован критерий наименьшей транспортной работы. Впервые выполнен учет действительной кривизны маршрута при помощи кусочно-линейной аппроксимацией. Приведен численный пример из семи баз.

Ключевые слова: методические аспекты, координаты, материальный поток, автомобиль, кривизна, маршрут, линейная аппроксимация

Введение

В транспортной логистике до 50 % издержек приходится на передвижение грузовых потоков. При любых видах транспорта центральное место занимает решение вопроса о расположении центра перевалки грузов. Тариф в значительной степени определяется затратами на складирование продукции и с расстоянием доставки, а также методами и средствами перевозки товара

Материал и методы

Единого общепринятого параметра, который правильно отражал сущность перемещения грузовых потоков на автомобильном транспорте к настоящему времени не найден.

Следует отметить, что физическая природа процесса доставки груза состоит из двух этапов, которые не могут существовать отдельно друг от друга – движение по маршруту и простой в пунктах разгрузки или погрузки.

Расчетные модели, учитывающие только массу груза при разгрузке или погрузке, но не учитывают процесс движения, являются не верными.

С другой стороны существуют модели, основанные на тарифе, который учитывает косвенно процесс движения через транспортную работу. Недостатком таких моделей является искусственный перенос ее в вершины транспортного графа. Известно, что в них не производится транспортная работа. Поэтому модель также не соответствует физическому процессу перевозки. Аналогичный недостаток имеет модель, основанная на использовании экономических параметров [2].

Применение в (1) и (2) моделей, где расстояние между пунктами транспортной сети определяется по воздушной прямой, не соответствует действительности.

В работе [3] отклонение от прямой учитывается коэффициентом объезда, который устанавливается с помощью деления суммарной длины катетов на гипотенузу треугольника для каждого пункта транспортной сети. Далее, определяется среднее его значение на всем полигоне обслуживания. Недостатком такой модели является большая неточность предложенной аппроксимации.

Теория

Для решения поставленной задачи необходимо разработать алгоритм нахождения местоположения центра распределения материальных потоков (ЦРМП), по критерию наименьшей транспортной работы или тарифа, с учетом кривизны реального маршрута.

Известно много методик расчета местонахождения склада [16-23] или различных центров распределения (ЦР). Их число постоянно растет. Однако, в каждой методике, первостепенным является определение дислокации транспортной сети и нахождение расстояния между ЦР и потребителями.

Для расчета координат распределительного центра на карте используем метод нахождения точки центра масс [1]:

$$x_c = \frac{\sum_{i=1}^n G_i x_i}{\sum_{i=1}^n G_i}; \quad (1)$$

$$y_c = \frac{\sum_{i=1}^n G_i y_i}{\sum_{i=1}^n G_i}; \quad (2)$$

где x_c и y_c – координаты расположения распределительного центра;

n – число потребителей;

x_i и y_i – координаты i -го потребителя;

G_i – параметр оптимизации используемой для характеристики перевозочного процесса: транспортной работы или тариф.

В качестве основного параметра в формулах (1) и (2) адекватно описывающего процесс движения груженого автомобиля, включая холостые пробеги, является полная работа. Она состоит из транспортной работы, затрачиваемой на перемещение груза и работы, которая тратится на движение автомобиля:

$$P_i = \sum_{i=1}^m P_i^{\text{тп}} + P^{\text{авт}}, \quad (3)$$

где $P_i^{\text{тп}}$ – транспортная работа на перемещения груза;

$P^{\text{авт}}$ – работа на перемещение автомобиля;

m – число ветвей на маршруте.

По определению работа есть произведение массы на путь. Тогда формула (3) преобразуется к виду:

$$P_i = \sum_{i=1}^m (g_i + Q_i) l_i, \quad (4)$$

где g_i – масса груза в кузове автомобиля на ветви маршрута между соседними пунктами разгрузки;

Q_i – собственная масса автомобиля;

l_i – длина ветви между соседними пунктами маршрута.

Учет собственного веса необходим, чтобы учитывать холостой пробег.

Работа производится на участках между пунктами разгрузки. Учет этого обстоятельства производится путем сосредоточения этой скалярной величины в точке центра масс линии ветви. Для однородной плоской кривой ее координаты будут [1]:

$$x_c = \frac{\int_a^b x \sqrt{1 + (y')^2} dx}{\int_a^b \sqrt{1 + (y')^2} dx}; \quad (5)$$

$$y_c = \frac{\int_a^b y \sqrt{1 + (y')^2} dx}{\int_a^b \sqrt{1 + (y')^2} dx}. \quad (6)$$

Выбор функции описывающей траекторию маршрута производится методом аппроксимации кривых [6].

В целях упрощения ее подбора маршрут можно разбить на несколько участков со своими центрами масс, которые называются центрами транспортной работы.

При использовании кусочно-линейной аппроксимации экспериментальных кривых центр масс будет находится по середине прямой линии в точке С (рис. 1).

Эпюра работы представляет собой прямоугольник высотой q_i+Q и длиной l_i , с учетом кривизны маршрутов.

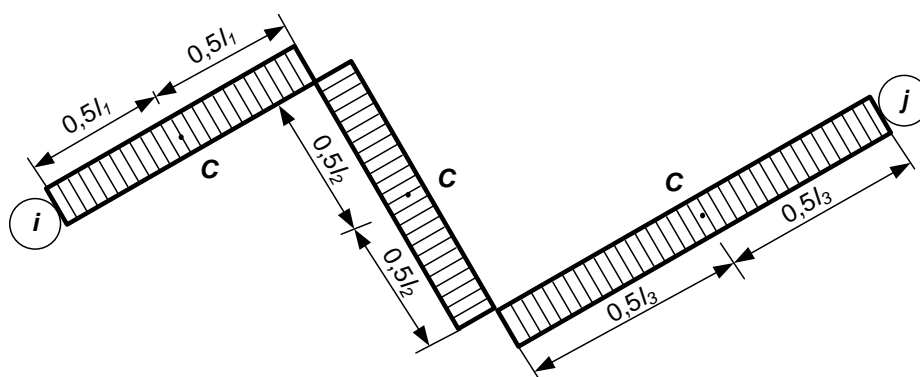


Рисунок 1 - Эпюры работы

При использовании для характеристики перевозочного процесса экономического показателя в виде тарифа T выражение (4) легко приводится к виду:

$$P_i^T = \sum_{i=1}^m (T_i^g g_i + T_i^Q Q_i) l_i, \quad (7)$$

где T_i^g – тариф перевозки груза, в руб./т·км;

T_i^Q – тариф использования автомобиля, в руб./т·км.

При больших расстояниях T_i^g и T_i^Q зависят от длины маршрута и являются функцией координат.

Влияние рельефа местности на работу автомобиля можно учесть путем введения поправочного коэффициента в формулы (4) и (7).

В качестве критерия оптимальности расположения ЦРМП можно принимать наименьшую транспортную работу или тариф.

Чтобы стоимость продукции была наименьшей, расстояние от потребителя до центра распределения материальных потоков должно быть оптимальным. Используем эвристический подход. От базы до центра распределения выполняется маятниковый маршрут. Алгоритм состоит из нескольких этапов.

1 этап. Определение расположения центра распределения материальных потоков с помощью критерия масса груза.

1.1. Введение декартовой системы координат. Координаты потребителей должны быть положительными.

1.2. Вычисление по формулам (1) и (2) месторасположения первого центра распределения.

2 этап. Уточнение расположения первоначального ЦР, используя критерий транспортной работы или тарифа.

2.1. Определение кратчайших расстояний от центра распределения до каждой базы.

2.2. Деление маршрута на участки и определение уравнения траектории передвижения по нему.

2.3. Определение длины и координат центра тяжести линий на каждом участке по формул (5) и (6).

2.4. Вычисление работы и тарифа по формулам (4) и (7), соответственно.

2.5. Расчет новых координат второго ЦР.

3 этап. Проверка на оптимальность местонахождения второго центра распределения материальных потоков.

3.1. Определение вершин, расположенных близко от второго ЦР по воздушной линии.

3.2. Определение работы при расположении центра распределения в выбранных ближайших вершинах.

3.3. Выбор вершины маршрута с наименьшей транспортной работой или тарифом.

Расчет

Применение предложенной методики на численном примере из 7 баз.

Дислокация транспортной сети представлена на рисунке 2 и в таблице 1. Масса груза при сумме разгрузки и погрузки в пунктах одинаковая и в сумме равна П1 – 2000 т; П2 – 1000 т; П3 – 5000 т; П4 – 3000 т; П5 – 2000 т; П6 – 1000 т; П7 – 3000 г. Между потребителями П1, П2, П3, П4, П5, П6, П7 ветви аппроксимированы - линейными функциями. В качестве критерия оптимизации выбирается наименьшее значение величины транспортной работы.

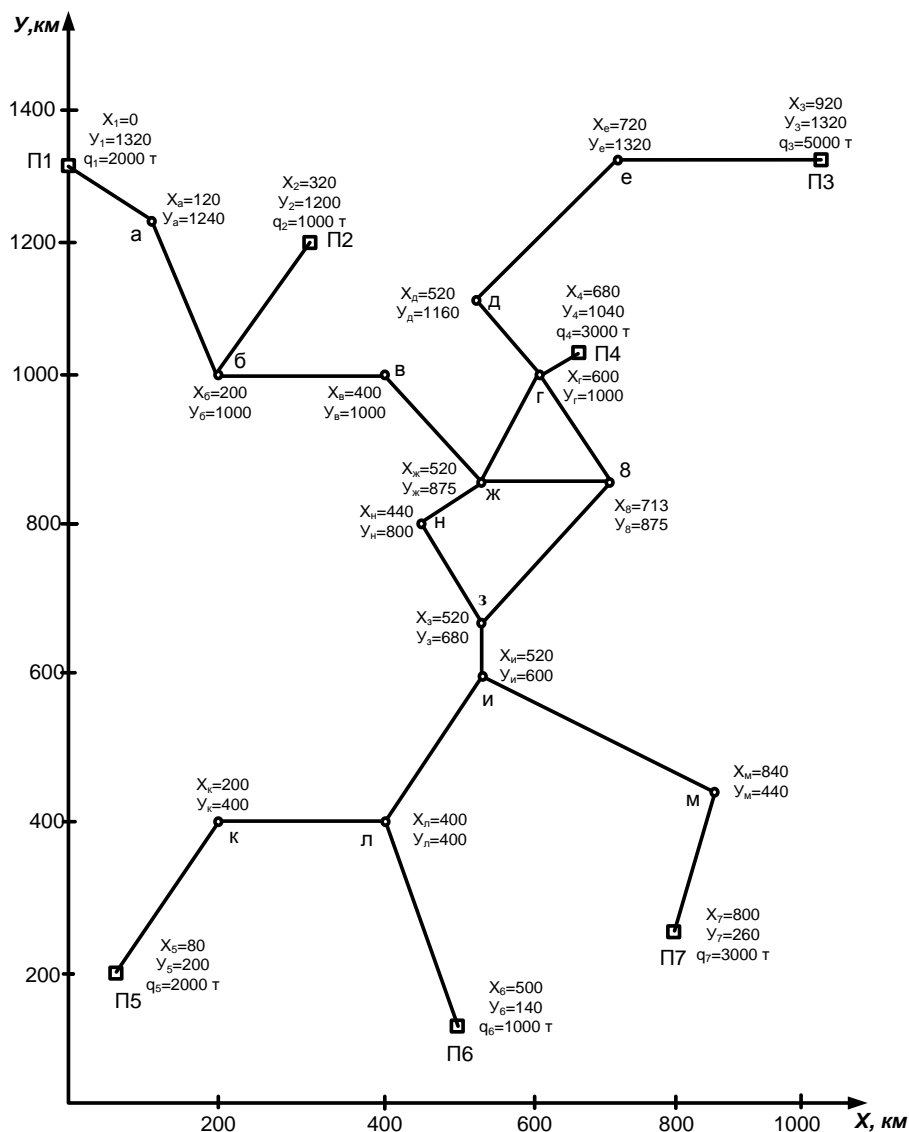


Рисунок 2 - Дислокация транспортной сети

Требуется определить расположение центра распределения материальных потоков.

$$\sum_{i=1}^n P_i \rightarrow \min. \quad (8)$$

Таблица 1 - Исходные данные

№ точки	$X, \text{ км}$	$y, \text{ км}$	№ точки	$X, \text{ км}$	$y, \text{ км}$
П1	0	1320	П4	680	1040
а	120	1240	н	440	800
б	200	1000	П5	80	200
в	400	1000	к	200	400

ж	520	875	л	400	400
Окончание таблицы 1					
1	2	3	4	5	6
в	713	875	и	520	600
П2	320	1200	з	520	680
П3	920	1320	П6	500	140
е	720	1320	П7	800	260
д	520	1160	м	840	440
г	600	1000			

Результаты и обсуждение

Результаты расчета по разработанному алгоритму представлены на рисунке 3 и в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты расчетов

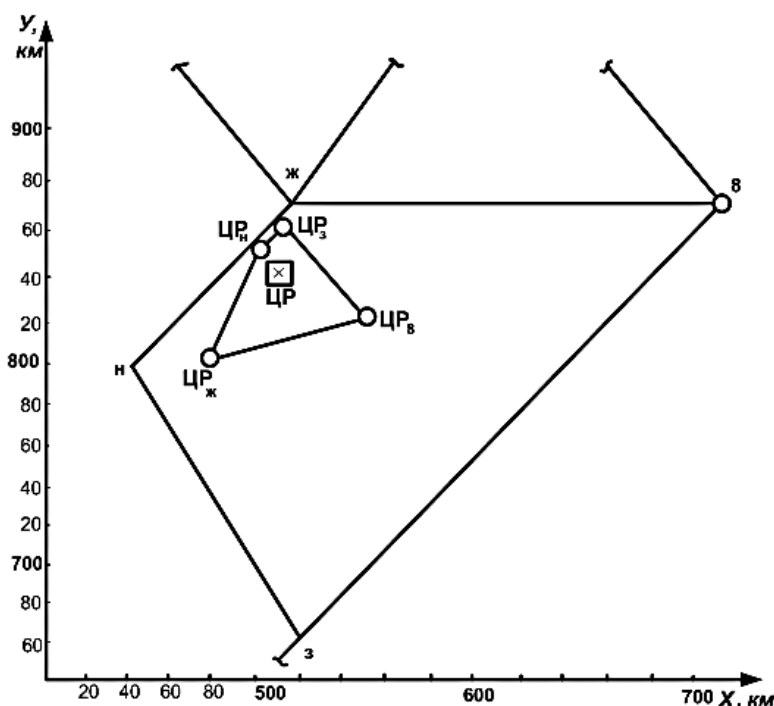
№ узла	№ центра	х, км	у, км	$\sum P$, т км	$\sum P x$, т км ²	$\sum P y$, т км ²
8	ЦР ₈	546,8	822,6	13115300	7171432520	10788623590
ж	ЦР _ж	477,6	809,3	12252500	5852198300	9916249502
н	ЦР _н	502,9	857,1	12801009	6437787080	10971303410
з	ЦР _з	511,4	868,7	13531190	6919600689	11754259470
Средние координаты		501,7	839,4			

При выполнении первого этапа – определяется точка центра тяжести по формулам (1) и (2) - вершина № 8. На втором этапе осуществляется определение координат центра распределения транспортных потоков с учетом кривизны траектории и транспортной работы относительно вершины № 8 (ЦР₈) (табл. 2). В качестве ближайших к ней выбраны точки: ж, н, з. При этом наиболее близко к ЦР₈ находится вершина ж. В таблице 2 также приводятся данные расчетов при расположении в ближайших вершинах центров распределения: ЦР_ж, ЦР_н, ЦР_з. Их расположение показано на рисунке 3.

Вместе: ЦР_ж, ЦР_н, ЦР_з, ЦР₈ образуют область, в которой может находиться общий центр распределения материальных потоков. Его месторасположение можно уточнить, вычислив средние координаты (табл. 2). На рисунке 3 он обозначен в виде среднего центра распределения.

Однако, автомобильных дорог в найденном районе нет. Поэтому его необходимо перенести в вершину на дорогу с наименьшей транспортной работой, которая находится в узле ж.

На рисунке 3 приводятся следующие обозначения: ЦР_з – центр распределения в узле з; ЦР_н – центр распределения в узле н; ЦР_ж – центр распределения в узле ж; ЦР₈ – центр распределения в узле 8.



Выводы

1. Использование критерия транспортной работы, позволило с помощью аппроксимации траектории передвижения кусочно-линейной функцией учесть криволинейность маршрутов.
2. Разработанный алгоритм позволяет более точно находить рациональное расположение центра распределения материальных потоков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кирсанов М.Н. Теоретическая механика, (под ред. А.И. Кириллова). 2-е изд., испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007.- 384 с.
2. Логистика. Практикум: учеб.-мет. пособие / О.Я.Салун [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2018. – 184 с.
3. Вольхин Е.Т. Модели размещения распределительных центров // Управленец, 2018. Т.9, №2. С. 54-60.
4. Гореева Р.Г. Методы обработки информации. Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2013. – 13 с.
5. Черкасов А.Г. Экономика: практические задачи и решения. Учеб. пособие. – С.Пб. Изд-во С.Пб. ГТУ. 2002. – 50 с.
6. Калиткин Н. Н. Численные методы: учеб. пособие. — 2-е изд., исправленное. — СПб.: БХВ-Петербург, 2011. — 592 с.: ил. — (Учебная литература для вузов)
7. Булатова О.Ю. Определение основных функций ИТС при организации дорожного движения во время проведения городских массовых мероприятий // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – №3-2(78). – С. 63-68. – DOI 10.33979/2073-7432-2022-2(78)-3-63-68.
8. 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.
9. Новиков А.Н., Шевцова А.Г. Безопасное и эффективное управление транспортными потоками в городской транспортной системе. – Москва: Академия, 2022. – 205 с.
10. Васильев А.П. Эксплуатация автомобильных дорог.: учебник для студ. высших учеб. заведений. - В 2 т. - М.: Издательский центр «Академия», 2010. - 320 с.
11. Жанказиев С.В. Разработка проектов интеллектуальных транспортных систем: Учебное пособие. – М.: МАДИ, 2016. – 22 с.
12. Жанказиев С.В. Интеллектуальные транспортные системы: Учебное пособие. – М.: МАДИ, 2016. – 14 с.
13. Основы организации дорожного движения: Учебное пособие / А.Н. Новиков, Л.Е. Кущенко, С.В. Кущенко, А.С. Камбур. – Белгород, Орел: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – 170 с.
14. 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.
14. 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.
15. Petrova E. Natural hazard impacts on transport infrastructure in Russia [Электронный ресурс] / Natural Hazards and Earth System Sciences. – Vol. 20. – 2020. – P. 1969-1983. – Режим доступа: <https://doi.org/10.5194/nhess-20-1969-2020>.
16. 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.
17. 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
18. Новиков А.Н., Кулев М.В., Кулев А.В. Анализ влияния технических неисправностей транспортных средств на уровень дорожной безопасности // Мир транспорта и технологических машин. - 2010. - № 1(28). - С. 8-11.
19. Широкопад О.А., Володькин П.П. Информационно-технологическое обеспечение повышения качества пассажирских перевозок в Приморском крае // Автомобильный транспорт Дальнего Востока. - 2018. - №1. - С. 328-333.

Новиков Александр Николаевич

Орловский государственный университет им. Тургенева И.С.

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

Д.т.н., профессор

E-mail: novikovan58@bk.ru

Жесткова Светлана Анатольевна

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

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

E-mail: obd@pguas.ru

A.N. NOVIKOV, S.A. ZHESTKOVA

METHODOLOGICAL ASPECTS OF DETERMINING THE COORDINATES OF THE CENTER DISTRIBUTION OF MATERIAL FLOWS

Abstract. This paper presents methodological aspects of determining the coordinates of the center of distribution of material flows. The analysis of the existing methods of calculation, the location of the center of distribution of material flows is carried out. An algorithm has been developed for finding the location of the center of material flows, according to the criterion of the least transport work or tariff, taking into account the curvature of the route. A numerical example based on the proposed algorithm is given.

Keywords: methodological aspects, coordinates, material flow, point of sale, rolling stock

BIBLIOGRAPHY

1. Kirsanov M.N. Teoreticheskaya mekhanika, (pod red. A.I. Kirillova). 2-e izd., ispr. - M.: FIZMATLIT, 2007. - 384 s.
2. Logistika. Praktikum: ucheb.-met. posobie / O.YA.Salun [i dr.]. - Minsk: BGATU, 2018. - 184 s.
3. Vol'khin E.T. Modeli razmeshcheniya raspredelitel'nykh tsentrov // Upravlenets, 2018. T.9, №2. S. 54-60.
4. Goreeva R.G. Metody obrabotki informatsii. Izd-vo Alt. gos. tekhn. un-ta, 2013. - 13 s.
5. Cherkasov A.G. Ekonomika: prakticheskie zadachi i resheniya. Ucheb. posobie. - S.Pb. Izd-vo S.Pb. GTU. 2002. - 50 s.
6. Kalitkin N. N. Chislennyye metody: ucheb. posobie. - 2-e izd., ispravlennoe. - SPb.: BHV-Peterburg, 2011. - 592 s.: il. - (Uchebnaya literatura dlya vuzov)
7. Bulatova O.Yu. Opredelenie osnovnykh funktsiy ITS pri organizatsii dorozhnogo dvizheniya vo vremya provedeniya gorodskikh massovykh meropriyatiy // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2022. - №3-2(78). - S. 63-68. - DOI 10.33979/2073-7432-2022-2(78)-3-63-68.
8. 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. - ISBN 978-5-361-00908-4.
9. Novikov A.N., Shevtsova A.G. Bezopasnoe i effektivnoe upravlenie transportnymi potokami v gorodskoy transportnoy sisteme. - Moskva: Akademiya, 2022. - 205 s.
10. Vasil'ev A.P. Ekspluatatsiya avtomobil'nykh dorog.: uchebnik dlya stud. vysshikh ucheb. zavedeniy. - V 2 t. - M.: Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2010. - 320 s.
11. Zhankaziev S.V. Razrabotka proektov intellektual'nykh transportnykh sistem: Uchebnoe posobie. - M.: MADI, 2016. - 22 s.
12. Zhankaziev S.V. Intellektual'nye transportnye sistemy: Uchebnoe posobie. - M.: MADI, 2016. - 14 s.
13. Osnovy organizatsii dorozhnogo dvizheniya: Uchebnoe posobie / A.N. Novikov, L.E. Kushchenko, S.V. Kushchenko, A.S. Kambur. - Belgorod, Orel: Belgorodskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskii universitet im. V.G. Shukhova, 2023. - 170 s.
14. Kulev A.V., Minaeva E.M. Problemy povysheniya kachestva v sfere perevozok passazhirov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2023. - №3-2(82). - S. 100-105. - DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-2(82)-100-105.
14. 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. - ISBN 978-5-361-00908-4.
15. Petrova E. Natural hazard impacts on transport infrastructure in Russia [Elektronnyy resurs] / Natural Hazards and Earth System Sciences. - Vol. 20. - 2020. - R. 1969-1983. - Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.5194/nhess-20-1969-2020>.
16. 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.
17. 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.
18. Novikov A.N., Kulev M.V., Kulev A.V. Analiz vliyaniya tekhnicheskikh neispravnostey transportnykh sredstv na uroven' dorozhnoy bezopasnosti // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2010. - № 1(28). - S. 8-11.
19. Shirokorad O.A., Volod'kin P.P. Informatsionno-tekhnologicheskoe obespechenie povysheniya kache-stva passazhirskikh perevozok v Primorskom krae // Avtomobil'nyy transport Dal'nego Vostoka. - 2018. - №1. - S. 328-333.

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 656.13

doi:10.33979/2073-7432-2023-4-1(83)-81-90

В.И. РАССОХА, С.Л. НАДИРЯН

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПАССАЖИРОПОТОКОВ

Аннотация. Исходя из стохастического характера пассажиропотоков в системе городского пассажирского транспорта, существует вероятность локального несоответствия провозной возможности парка транспортных средств, закреплённых за городским маршрутом, и спросом на транспортные услуги. Разработана математическая модель, позволяющая определить эффективность транспортного процесса при заданных структурных параметрах парка транспортных средств и заданных параметрах спроса. Модель послужила основой для разработки методики оптимизации численности транспортных средств, закреплённых за маршрутами городского пассажирского транспорта. По результатам обследования выборки пассажирских маршрутов города Краснодар, определены данные, необходимые для построения модели, решена оптимизационная задача. Полученный эффект позволяет сделать заключение о целесообразности внедрения результатов исследования

Ключевые слова: городской пассажирский транспорт, пассажиропоток, моделирование транспортных систем, транспортное обслуживание населения, условия риска

Введение

Городской пассажирский транспорт общего пользования является важнейшим структурным элементом современных городских территорий, во многом определяя качество жизни городского населения, способствуя развитию социальной и экономической сфер. Для современного состояния городских пассажирских транспортных систем характерны проблемы организационного, технологического и экологического плана, препятствующие повышению эффективности их работы. Одна из таких проблем обусловлена несоответствием фиксированной провозной возможности парка транспортных средств, закреплённых за маршрутом, и нестационарными пассажиропотоками, формируемыми под влиянием совокупности случайных внешних факторов. Очевидным результатом обозначенного несоответствия является снижение эффективности функционирования городского пассажирского транспорта. Сформулированная проблема определяет актуальность темы проведённого исследования. Подтверждением актуальности обозначенной проблемы является наличие значительного количества научных работ, посвящённых решению вопросов, связанных с организацией пассажирских перевозок [1, 2, 4, 6-13, 16-23]. Литературный обзор, выполненный на начальном этапе исследования, позволил выявить проблему, связанную с недостаточной изученностью вопроса влияния вероятностных характеристик формируемых пассажиропотоков на структурные параметры парка транспортных средств, обеспечивающих максимальную эффективность транспортного процесса.

Исходя из выявленной проблемы, сформулирована цель работы – повышение эффективности работы городского пассажирского транспорта на основе согласования провозной возможности парка транспортных средств и вероятностных характеристик нестационарных пассажиропотоков.

Материал и методы

Материалом для анализа циклических и вероятностных характеристик пассажиропотоков послужила информация о количестве перевезённых пассажиров на регулярных маршрутах городского пассажирского транспорта города Краснодар, собранная за период с сентября 2022 года по сентябрь 2023 года. Обобщённая информация о среднесуточных и годовых объёмах перевозок получена по всей совокупности городских пассажирских маршрутов. Детальная информация о распределении пассажиропотоков по времени суток, участкам маршрутов и вероятностные характеристики, описывающие распределение вероятностей пассажиропотоков на наиболее нагруженных участках в пиковое время, получены по результатам натурных обследований.

© В.И. Рассоха, С.Л. Надирян, 2023

дований, выполненных в отношении десяти автобусных маршрутов города Краснодар. Натурные обследования проведены методом подсчёта пассажиров наблюдателями, размещёнными в часы пик на наиболее нагруженных участках исследуемых маршрутов.

Известные методы определения структурных параметров парка транспортных средств [4, 18, 19, 23], обслуживающих маршруты городского пассажирского транспорта, базируются на обеспечении требований к качеству транспортного обслуживания населения по показателям регулярности, провозной способности и экономической доступности. Проведённое исследование направленно на уточнение оптимальной численности транспортных средств при выполненном условии обеспечения регулярности перевозок.

Теория

Для решения обозначенной проблемы авторами предложено использовать положения теории массового обслуживания, определяющие методы оптимизации параметров обслуживающих систем в условиях нестационарного спроса [3, 5, 10, 14, 20].

На основании результатов практических наблюдений установлено, что для большинства городских пассажирских маршрутов характерны: цикличность изменения пассажиропотоков и наличие выраженных расхождений между аналогичными участками смежных циклов. Данные расхождения обусловлены условиями формирования пассажиропотоков, которые характеризуются совокупным действием множества внешних трудно учитываемых факторов городской среды.

В данных условиях решение о закреплении определённого количества транспортных средств заданной пассажироместимости за регулярным маршрутом городского пассажирского транспорта является решением, принимаемым в условиях риска.

Под риском понимается вероятность следующих неблагоприятных событий:

- неудовлетворение спроса на транспортные услуги (отказ в предоставлении услуги) вследствие недостаточной провозной возможности парка;
- неудовлетворение требований к качеству оказываемой услуги в результате превышения допустимого уровня наполняемости салона;
- неэффективное использование парка транспортных средств, закреплённых за маршрутом, обусловленное его избыточной провозной возможностью.

Взаимодействие парка транспортных средств, обслуживающих маршрут городского пассажирского транспорта, и пассажиров может быть представлено как взаимодействие активного участника транспортного процесса и городской среды, формирующей спрос на услуги транспорта. В заданных условиях оптимальной является численность транспортных средств, обеспечивающая максимально возможное значение совокупного эффекта в течение периода, охватывающего весь цикл вероятностных колебаний пассажиропотоков.

Методика расчёта совокупного эффекта предполагает определение результатов вероятных сочетаний численных значений спроса на услуги городского пассажирского транспорта и провозной возможности парка [17, 21, 22].

Оценка эффективности возможных сочетаний спроса на транспортные услуги и провозной возможности парка производится при помощи результирующей матрицы. Форма данной матрицы представлена в виде таблицы 1.

Таблица 1 – Результирующая матрица

Оценка возможных сочетаний	Спрос на услуги пассажирского транспорта, пасс.					
	$\Pi_j \rightarrow$	Π_1	Π_2	Π_3	....	Π_n
Провозная возможность парка транспортных средств, закреплённых за маршрутом, пасс.	$A_i \downarrow$					
	A_1	X_{11}	X_{12}	X_{13}	....	X_{1n}
	A_2	X_{21}	X_{22}	X_{23}	....	X_{2n}
	A_3	X_{31}	X_{32}	X_{33}	....	X_{3n}

	A_k	X_{k1}	X_{k2}	X_{k3}	....	X_{kn}
Вероятность спроса на транспортные услуги		P_1	P_2	P_3	....	P_n

где Π_j – спрос на транспортные услуги по рассматриваемому маршруту, пасс./час;

A_i – провозная возможность парка транспортных средств, закреплённых за маршрутом, пасс./час;

P_i – вероятность i -го значения спроса на транспортные услуги, ед.

В ячейки результирующей матрицы заносятся значения прогнозируемых результатов, определяемых при помощи следующих выражений:

$$\begin{cases} X_{ij} = \sum (\Pi_i \cdot b_1), & \text{при } A_i = \Pi_j \\ X_{ij} = \sum (\Pi_i \cdot b_1) + \sum ((\Pi_j - A_i) \cdot b_2), & \text{при } A_i < \Pi_j \\ X_{ij} = \sum (\Pi_j \cdot b_1) + \sum ((A_i - \Pi_j) \cdot b_3), & \text{при } A_i > \Pi_j \end{cases} \quad (1)$$

где b_1 – положительный эффект, получаемый в результате перевозки одного пассажира, руб.;

b_2 – отрицательный эффект, обусловленный неудовлетворённым спросом одного пассажира на транспортные услуги, руб.;

b_3 – отрицательный эффект, обусловленный избыточностью провозной возможности парка транспортных средств, приходящейся на одного пассажира, руб.

Расчёт провозной возможности парка, реализованной на участке городского маршрута, для пикового периода производится по формуле:

$$A = \frac{PB}{I} \cdot T_{\text{пик}} = \frac{PB \cdot V_{\text{марш}}^{\text{CP}} \cdot N_{\text{авт}}}{L_{\text{марш}}} \cdot T_{\text{пик}}, \quad (2)$$

где PB – пассажировместимость транспортных средств, чел.;

I – интервал движения транспортных средств, час.;

$T_{\text{пик}}$ – продолжительность пикового периода, час.;

$V_{\text{марш}}^{\text{CP}}$ – средняя скорость движения транспортных средств, км/ч;

$L_{\text{марш}}$ – протяжённость оборотного рейса, км;

Расчёт возможных эффектов, обусловленных сочетанием провозной возможности парка и спроса на транспортные услуги, производится при помощи формул:

$$b_1 = T - CC_1 = T - \frac{C_{1\text{км}} \cdot L_{\text{марш}} \cdot m_{\text{год}}}{Q_{\text{год}}}, \quad (3)$$

где T – тариф на перевозку одного пассажира, руб.;

CC_1 – себестоимость перевозки одного пассажира при фактической (принятой) численности транспортных средств, закреплённых за маршрутом, руб./чел.;

$C_{1\text{км}}$ – себестоимость одного километра пробега, руб./км;

$m_{\text{год}}$ – годовое количество оборотных рейсов, ед.;

$Q_{\text{год}}$ – годовой объём перевозок, чел./год;

$$b_2 = CC^{\text{MAX}} - T = \frac{C_{1\text{км}} \cdot L_{\text{марш}} \cdot m_{\text{год}}}{Q_{\text{год}}} - T, \quad (4)$$

где CC^{MAX} – себестоимость перевозки одного пассажира при условии полного удовлетворения вероятного спроса на транспортные услуги (численность транспортных средств соответствует максимально-возможному пассажиропотоку), руб./чел.;

$$b_3 = -CC_{\text{MIN}} = -\frac{C_{1\text{км}} \cdot L_{\text{марш}} \cdot n_1}{PB \cdot n_M}, \quad (5)$$

где CC_{MIN} – себестоимость перевозки одного пассажира при полном использовании пассажироместности транспортных средств, руб./пасс.;

n_I – среднее количество перегонов между остановочными пунктами, проезжаемых одним пассажиром, ед.;

n_M – общее количество перегонов между остановочными пунктами маршрута, ед.

Расчёт себестоимости перевозки одного пассажира производится в соответствии с методикой, утверждённой распоряжением Министерства транспорта РФ от 18 апреля 2013 г. №НА-37-р.

В качестве пояснения следует отметить, что под неудовлетворённостью спроса на услуги пассажирского транспорта, являющейся причиной отрицательного эффекта b_2 , понимается ситуация превышения нормы вместимости транспортных средств, приводящая к невыполнению рекомендаций по обеспечению комфортной наполняемости салона (не более 5 чел./м²), указанных в социальном стандарте, утверждённым распоряжением Министерства транспорта РФ от 31 января 2017 г. № НА-19-р. При этом обязательным условием является обеспечение провозной возможности парка, позволяющей обеспечить вывоз всех пассажиров на наиболее нагруженном участке маршрута в пиковое время при максимальной наполняемости салона, соответствующей максимальной пассажироместности используемых транспортных средств. То есть, в данном случае, моделируется риск отказа пассажира от услуг городского пассажирского транспорта вследствие некомфортных условий перевозки, но при этом сохраняется физическая возможность реализации транспортных услуг для всех потенциальных пассажиров.

Критерием оптимальной численности транспортных средств, закреплённых за маршрутом, является численность, соответствующая максимальному значению суммарного эффекта, определённому при помощи матрицы итоговых значений. Вид матрицы итоговых значений проиллюстрирован при помощи таблицы 2.

Таблица 2 – Матрица итоговых значений

A _i \ П _j	Выигрыши сочетаний					Суммарный эффект
	П ₁	П ₂	П ₃	...	П _n	
A ₁	P ₁ ·X ₁₁	P ₂ ·X ₁₂	P ₃ ·X ₁₃	...	P _n ·X _{1n}	Σ(P _j ·X _{1j})
A ₂	P ₁ ·X ₂₁	P ₂ ·X ₂₂	P ₃ ·X ₂₃	...	P _n ·X _{2n}	Σ(P _j ·X _{2j})
A ₃	P ₁ ·X ₃₁	P ₂ ·X ₃₂	P ₃ ·X ₃₃	...	P _n ·X _{3n}	Σ(P _j ·X _{3j})
...
A _k	P ₁ ·X _{k1}	P ₂ ·X _{k2}	P ₃ ·X _{k3}	...	P _n ·X _{kn}	Σ(P _j ·X _{kj})

Разработанная математическая модель послужила основой для разработки методики оптимизации численности транспортных средств, закреплённых за маршрутом городского пассажирского транспорта. Схема алгоритма, описывающего последовательность действий, определённых разработанной методикой, представлена на рисунке 1.

Ввиду того, что разработанная методика предполагает многократное и циклически повторяющееся определение себестоимости перевозки одного пассажира, для снижения трудоёмкости вычислительных операций разработана и зарегистрирована программа для ЭВМ [15].

Результаты

Для практической реализации разработанной модели проведён анализ технико-экономических параметров процесса перевозки пассажиров на выборке регулярных маршрутов городского пассажирского транспорта города Краснодар. В состав выборки включены три маршрута обслуживаемых автобусами максимальной пассажироместностью 117 человек и семь маршрутов, обслуживаемых транспортными средствами пассажироместностью 45 человек. По результатам анализа определены значения возможных положительных и отрицательных эффектов, обусловленных различными сочетаниями величин потребности в транспортных услугах и провозной возможности парка транспортных средств. Техно-экономические параметры маршрутов и полученные на основе их анализа значения возможных эффектов приведены в таблице 3.

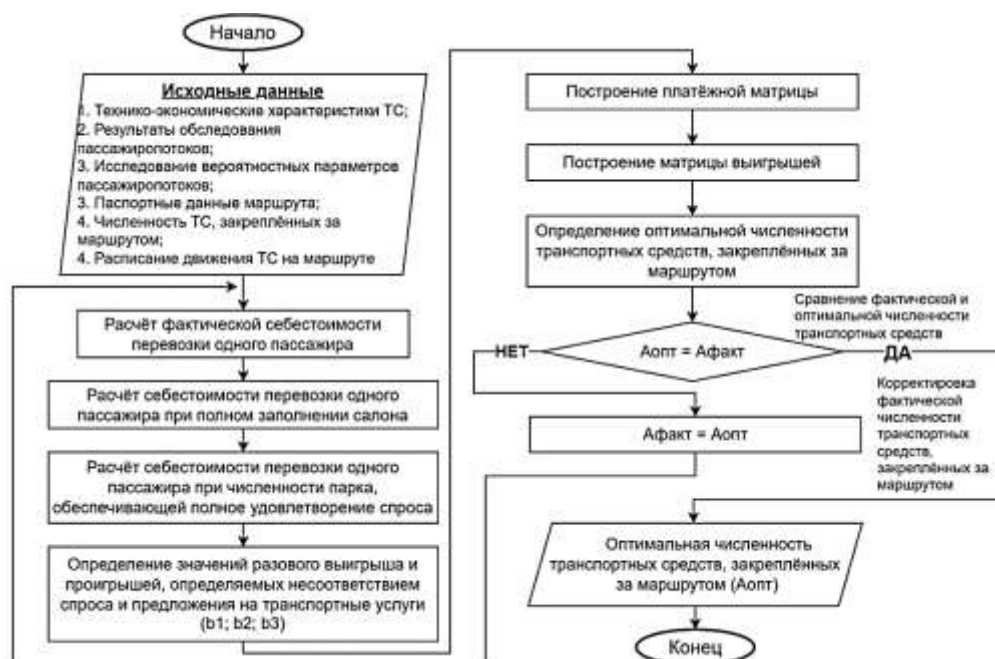


Рисунок 1 – Схема алгоритма оптимизации численности транспортных средств, закреплённых за регулярным маршрутом городского пассажирского транспорта

Таблица 3 – Техно-экономические параметры выборки регулярных маршрутов городского пассажирского транспорта города Краснодар

Параметр	Порядковый номер маршрута									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Протяжённость оборотного рейса, км.	48	40	36	40	28	41	36	34	37	46
Максимальная пассажировместимость транспортных средств, обслуживающих маршрут, чел.	117	117	117	45	45	45	45	45	45	45
Годовой объём перевозок, пасс.	2150000	3512000	1840000	2400000	4283300	4693500	3804300	4680600	4719600	4822600
Количество транспортных средств, закреплённых за маршрутом, ед.	14	18	12	16	32	31	30	38	28	37
Общий годовой пробег транспортных средств, обслуживающих маршрут, км	446760	804168	357408	1048397	2192102	2192102	2001485	2096794	2001485	2287411
Себестоимость 1 км пробега транспортных средств на маршруте, руб.	124	110	127	52,1	51,8	51,6	52,0	53,5	51,5	52,6
Себестоимость перевозки одного пассажира при фактической численности транспортных средств, закреплённых за маршрутом, руб.	25,8	25,3	24,7	22,8	26,5	24,1	27,4	24,0	21,8	24,9
Утверждённый тариф на перевозку пассажира, руб.	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Положительный эффект при удовлетворении транспортных потребностей пассажира b_1 , руб.	9,2	9,7	10,3	12,2	8,5	10,9	7,6	11	13,2	10,1
Отрицательный эффект, обусловленный неудовлетворённым спросом одного пассажира на транспортные услуги b_2 , руб.	8,3	8,7	9,3	11	7,7	9,8	6,8	10,0	11,9	9,1
Отрицательный эффект, обусловленный избыточностью провозной возможности парка транспортных средств, приходящейся на одного пассажира b_3 , руб.	18,0	19,7	17,7	19,6	24,5	22,2	24,6	20,9	19,8	22,3

На практике организаторы перевозок при определении необходимого количества транспортных средств, закреплённых за маршрутом, учитывают среднюю или максимальную величину пассажиропотоков, определённую по результатам нескольких замеров. Математическая модель, предложенная в данной работе, предполагает исследование и учёт вероятностных характеристик пассажиропотоков как случайной величины, формируемой под влиянием совокупности внешних непрогнозируемых факторов.

Исходя из этого, в качестве одного из элементов научной новизны, определены зависимости, отражающие влияние вероятностных характеристик спроса на услуги городского пассажирского транспорта на оптимизированную численность транспортных средств, определённую в соответствии с разработанной методикой. Графики, иллюстрирующие указанные зависимости, приведены на рисунке 2.

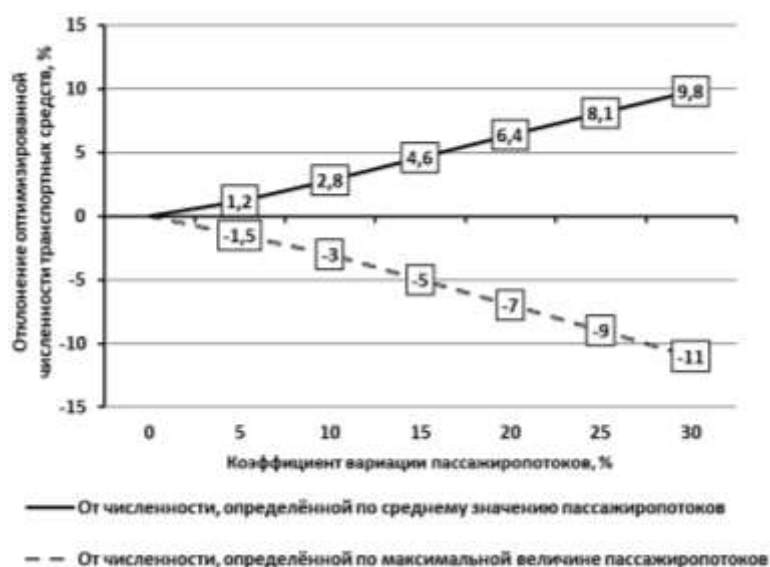


Рисунок 2 – Зависимости относительной оптимизированной численности транспортных средств от коэффициента вариации пассажиропотоков

На практике разработанная математическая модель послужила основой для оптимизации численности транспортных средств, закреплённых за выборкой из десяти автобусных маршрутов города Краснодар. В отношении данных маршрутов в рабочие дни в часы пиковых нагрузок проведено натурное обследование, по результатам которого определены пассажиропотоки и вероятностные характеристики их распределения. На рисунке 3, в качестве примера, представлен график распределения вероятностей пассажиропотоков, полученный для одного из маршрутов, обслуживаемых транспортными средствами пассажироместимостью 117 человек.



Рисунок 3 – Распределение вероятностей пассажиропотоков для регулярного маршрута городского пассажирского транспорта, обслуживаемого транспортными средствами пассажироместимостью 117 человек

Полученные данные послужили основой для оптимизации численности закреплённых транспортных средств, выполненной в отношении выборки обследованных маршрутов. По результатам оптимизации произведена корректировка численности и перераспределение транспортных средств, закреплённых за маршрутами. Выполненная оптимизация позволила обеспечить снижение средней себестоимости перевозки одного пассажира с 28,3 руб. до 27,4 руб., что обеспечило получение годового экономического эффекта в объёме 15 470 тыс. руб.

Обсуждение

Целью данной научной работы являлось повышение эффективности работы городского пассажирского транспорта за счёт обоснованного согласования определяемой организаторами перевозок провозной способности парка и спросом на транспортные услуги, фактически являющемся случайной величиной, формируемой под влиянием совокупности внешних факторов, которые в рамках работы рассматриваются как «Окружающая среда».

Исходя из обозначенного взаимодействия транспортных средств, обслуживающих регулярные маршруты городского пассажирского транспорта, и городского населения, пассажирский транспорт общего пользования представлен как система массового обслуживания, обслуживающая стохастический поток требований, описываемый вероятностными характеристиками. В такой системе существует определяемая известными методами вероятность неблагоприятных событий, заключающихся как в недостаточной, так и в избыточной, производительности системы (провозной возможности парка).

Обозначенный подход позволил выдвинуть гипотезу о том, что оптимальный баланс между вероятностями данных событий определяет оптимальное количество обслуживающих объектов (в данном случае – транспортных средств, закреплённых за маршрутом). Для решения данной задачи в рамках исследования определены выражения, позволяющие вычислить последствия возможных сочетаний спроса и параметров производительности системы.

Выдвинутая гипотеза нашла предварительное подтверждение в материалах, полученных по результатам математического моделирования, а в дальнейшем по результатам практического внедрения разработанной методики оптимизации численности транспортных средств, закреплённых за регулярными маршрутами городского пассажирского транспорта.

Применяемыми на практике методами определения численности транспортных средств, закреплённых за маршрутом, не предусмотрена процедура оценки и учёта вероятностных характеристик формируемых пассажиропотоков. В качестве расчётной величины организаторы перевозок используют среднее или максимальное значение, установленное за период обследования. Исходя из этого, оптимизированная численность транспортных средств, закреплённых за маршрутом, может отличаться от фактической численности как в большую, так и в меньшую сторону. Это подтверждается результатами, полученными по итогам практического применения разработанных методов. Так, из десяти городских маршрутов рекомендовано: сократить численность транспортных средств на двух маршрутах, увеличить на пяти маршрутах и на трёх маршрутах численность транспортных средств не рекомендовано изменять. Разнонаправленный характер корректирования позволяет рассмотреть вопрос о целесообразности перераспределения транспортных средств между маршрутами, что дополнительно способствует повышению эффективности внедрения полученных результатов.

Выводы

По результатам литературного обзора, натурных наблюдений и исходя из опыта практической деятельности, установлен стохастический характер пассажиропотоков, формируемых на регулярных маршрутах городского пассажирского транспорта, что не в полной мере учтено известными методами расчёта численности транспортных средств, закреплённых за городскими пассажирскими маршрутами.

Для решения выявленной проблемы разработана методика, позволяющая оптимизировать численность транспортных средств с учётом вероятных характеристик пассажиропотоков и величины отрицательного эффекта, обусловленного несоответствием провозной возможности парка и спросом на транспортные услуги.

Выполненные аналитические и натурные исследования позволили сформировать массив данных, необходимых для практической реализации разработанных методов. Оптимизация численности транспортных средств, выполненная в отношении выборки из десяти автобусных маршрутов города Краснодар позволила достигнуть снижения средней себестоимости перевозки одного пассажира с 28,3 руб. до 27,4 руб. Достигнут общий годовой экономический эффект в объеме 15 470 тыс. руб., что подтверждает практическую значимость результатов исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бочаров И.А., Власов Ю.Л., Рассоха В.И. Модель определения оптимального количества маршрутных транспортных средств // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2011. – №10. – С. 49-53.
2. Варелопуло Г.А. Организация движения и перевозок на городском пассажирском транспорте. – М.: Транспорт, 1990. – 208 с.
3. Волкова В.Н. Из истории развития системного анализа в нашей стране // Экономическая наука современной России. – 2001. – №3. – С. 127-136.
4. Володькин П.П., Дьячкова О.М., Рыжова А.С. Определение необходимого количества автобусов на маршрутах, исходя из интервала движения, на примере г. Хабаровска // Транспорт: наука, техника, управление. – 2015. – №3. – С. 28-32.
5. Гусынин А.Б. Минашкин В.Г. Теория выборочных обследований // Московский государственный университет экономики, статистики и информатики. – М., 2003. – 67 с.
6. Дьячкова О.М., Володькин П.П. Оптимизация структуры парка как одно из решений реформирования организационно-финансового механизма городского пассажирского транспорта // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: Материалы 4 МНТК. Ч. 1. – Пенза: ПГУАС. – 2006. – С. 307-310.
7. Иванов М.В. Транспортная система и транспортная инфраструктура: взаимосвязь и факторы развития // Экономика и предпринимательство. – 2015. – №12-2. – С. 418-422.
8. Иванов М.В. Транспортная обеспеченность и экономическое развитие регионов (на примере регионов Поволжья) // Вестник Самарского государственного университета путей сообщения. – 2014. – №2. – С. 125-131.
9. Ларин О.Н. Методологические основы организации и функционирования транспортной системы региона: Монография. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – 207 с.
10. Мелентьев Д.Ю. Единая система логистики городского пассажирского транспорта: основы построения // Вестник экономики транспорта и промышленности. – 2012. – №39. – С. 144-148.
11. Рассоха В.И. Ситуационное управление автотранспортными системами. Схема и сценарии управления городским пассажирским транспортом // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2010. – №4. – С. 142-146.
12. Рассоха В.И., Власов Ю.Л. Совершенствование системы городского пассажирского транспорта на основе спроса пассажиров на транспортные средства // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2006. – №3. – С. 135-140.
13. Организация управления автомобильным транспортом: Монография / В.М. Курганов, Ю.И. Куликов, И.Н. Пугачев, В.Н. Шпаков, Л.Б. Миротин и др. - Владивосток: Дальнаука, 2011. – 400 с.
14. Самуэльсон Л. Теория игр в экономической науке и не только; пер. с англ. О. Волковой // Вопросы экономики. – 2017. – № 5. – С. 89-115.
15. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023668943. Программа расчета себестоимости перевозки пассажиров по муниципальным маршрутам регулярных перевозок / С.Л. Надирян, Д.А. Дрючин, В.И. Рассоха; заявитель и правообладатель Гос. образоват. учреждение Кубанский гос. технолог. ун-т. – Заявка № 2023667650; зарег. 06.09.2023.
16. Спирин И.В. Перевозки пассажиров городским транспортом: Справочное пособие. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. – 413 с.
17. Фадеев А.И., Фомин Е.В. Методика решения задачи определения оптимальной структуры парка подвижного состава городского пассажирского транспорта общего пользования // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2018. – №1 – С. 218-227.
18. Фадеев А.И., Фомин Е.В., Алхуссейни С. Определение предельно допустимого коэффициента использования вместимости городского пассажирского транспорта // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2019. – Т. 16. – №3. – С. 290-301.
19. Фадеев А.И., Фомин Е.В., Алхуссейни С. Определение пропускной способности остановочных пунктов городского пассажирского транспорта // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2020. – №17. – С. 248-261.
20. Эффективность городского пассажирского общественного транспорта [Электронный ресурс]: монография / А.В. Вельможин [и др.]. – Волгоград: ВолгГТУ, 2002. – 256 с.
21. Якунин Н.Н., Якунина Н.В. Концептуальные положения организации транспортного обслуживания населения автомобильным транспортом по маршрутам регулярных перевозок // Materialy mezinarodni vedecko-

praktika conference «Dny vedy - 2012» - Dil 90. Technicke vedy: Praha. - С. 17-21.

22. Якунин Н.Н., Якунина Н.В., Спирин А.В. Модель организации транспортного обслуживания населения автомобильным транспортом по маршрутам регулярных перевозок // Грузовое и пассажирское хозяйство. – 2013. – №3. – С.78-83.

23. Якунина Н.В. Совершенствование методологии определения структуры подвижного состава городского пассажирского автомобильного транспорта // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2011. – №10. – С. 13-19.

Рассоха Владимир Иванович

Оренбургский государственный университет

Адрес: 460018, г. Оренбург, проспект Победы, д. 13

Д.т.н., доцент, декан транспортного факультета

E-mail: cabin2012@yandex.ru.

Надирян София Леоновна

Кубанский государственный технологический университет

Адрес: 350072, г. Краснодар, ул. Московская, д. 2

Старший преподаватель кафедры транспортных процессов и технологических комплексов

E-mail: sof008008@yandex.ru

V.I. RASSOKHA, S.L. NADIRYAN

MODELING OF PERFORMANCE INDICATORS URBAN PASSENGER TRANSPORT AT MAINTENANCE OF NON-STATIONARY PASSENGER FLOWS

Abstract. *Based on the stochastic nature of passenger flows in the urban passenger transport system, there is a possibility of a local discrepancy between the carrying capacity of the fleet of vehicles assigned to the urban route and the demand for transport services. A mathematical model has been developed to determine the efficiency of the transport process with the given structural parameters of the fleet of vehicles and the given parameters of demand. The model served as the basis for the development of a methodology for optimizing the number of vehicles assigned to the routes of urban passenger transport. Based on the results of the survey of a sample of passenger routes of the city of Krasnodar, the data necessary for building the model were determined, the optimization problem was solved. The resulting effect allows us to make a conclusion about the expediency of implementing the results of the study.*

Keywords: *urban passenger transport, passenger traffic, modeling of transport systems, public transport services, risk conditions*

BIBLIOGRAPHY

1. Bocharov I.A., Vlasov Yu.L., Rassokha V.I. Model` opredeleniya optimal'nogo kolichestva marshrutnykh transportnykh sredstv // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. - 2011. - №10. - S. 49-53.
2. Varelopulo G.A. Organizatsiya dvizheniya i perevozok na gorodskom passazhirskom transporte. - M.: Transport, 1990. - 208 s.
3. Volkova V.N. Iz istorii razvitiya sistemnogo analiza v nashey strane // Ekonomicheskaya nauka sovremennoy Rossii. - 2001. - №3. - S. 127-136.
4. Volod`kin P.P., D'yachkova O.M., Ryzhova A.S. Opredelenie neobkhodimogo kolichestva avtobusov na marshrutakh, iskhodya iz intervala dvizheniya, na primere g. Habarovska // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. - 2015. - №3. - S. 28-32.
5. Gusynin A.B. Minashkin V.G. Teoriya vyborochnykh obsledovaniy // Moskovskiy gosudarstvennyy universitet ekonomiki, statistiki i informatiki. - M., 2003. - 67 s.
6. D'yachkova O.M., Volod`kin P.P. Optimizatsiya struktury parka kak odno iz resheniy reformirovaniya organizatsionno-finansovogo mekhanizma gorodskogo passazhirskogo transporta // Problemy kachestva i ekspluatatsii avtotransportnykh sredstv: Materialy 4 MNTK. CH. 1. - Penza: PGUAS. - 2006. - S. 307-310.
7. Ivanov M.V. Transportnaya sistema i transportnaya infrastruktura: vzaimosvyaz` i faktory razvitiya // Ekonomika i predprinimatel'stvo. - 2015. - №12-2. - S. 418-422.

8. Ivanov M.V. Transportnaya obespechennost' i ekonomicheskoe razvitie regionov (na primere regionov Povolzh'ya) // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya. - 2014. - №2. - S. 125-131.
9. Larin O.N. Metodologicheskie osnovy organizatsii i funktsionirovaniya transportnoy sistemy regiona: Monografiya. - Chelyabinsk: Izd-vo YUUrGU, 2007. - 207 s.
10. Melent'ev D.YU. Edinaya sistema logistiki gorodskogo passazhirskogo transporta: osnovy postroeniya // Vestnik ekonomiki transporta i promyshlennosti. - 2012. - №39. - S. 144-148.
11. Rassokha V.I. Situatsionnoe upravlenie avtotransportnymi sistemami. Skhema i stsennarii upravleniya gorodskim passazhirskim transportom // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. - 2010. - №4. - S. 142-146.
12. Rassokha V.I., Vlasov Yu.L. Sovershenstvovanie sistemy gorodskogo passazhirskogo transporta na osnove sprosa passazhirov na transportnye sredstva // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. - 2006. - №3. - S. 135-140.
13. Organizatsiya upravleniya avtomobil'nym transportom: Monografiya / V.M. Kurganov, Yu.I. Kulikov, I.N. Pugachev, V.N. Shpakov, L.B. Mirotin i dr. - Vladivostok: Dal'nauka, 2011. - 400 s.
14. Samuel'son L. Teoriya igr v ekonomicheskoy nauke i ne tol'ko; per. s angl. O. Volkovoy // Voprosy ekonomiki. - 2017. - № 5. - S. 89-115.
15. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2023668943. Programma rascheta sebestoimosti perevozki passazhirov po munitsipal'nym marshrutam regul'yarnykh perevozok / S.L. Nadiryan, D.A. Dryuchin, V.I. Rassokha; zayavitel' i pravoobladatel' Gos. obrazovat. uchrezhdenie Kubanskiy gos. tekhnolog. un-t. - Zayavka № 2023667650; zareg. 06.09.2023.
16. Spirin I.V. Perevozki passazhirov gorodskim transportom: Spravochnoe posobie. - M.: IKTS «Akademkniga», 2004. - 413 s.
17. Fadeev A.I., Fomin E.V. Metodika resheniya zadachi opredeleniya optimal'noy struktury parka podvizhnogo sostava gorodskogo passazhirskogo transporta obshchego pol'zovaniya // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. - 2018. - №1. - S. 218-227.
18. Fadeev A.I., Fomin E.V., Alkhusseyini S. Opredelenie predel'no dopustimogo koeffitsienta is-pol'zovaniya vmestimosti gorodskogo passazhirskogo transporta // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta. - 2019. - T. 16. - №3. - S. 290-301.
19. Fadeev A.I., Fomin E.V., Alkhusseyini S. Opredelenie propusknoy sposobnosti ostanovochnykh punktov gorodskogo passazhirskogo transporta // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta. - 2020. - №17. - S. 248-261.
20. Effektivnost' gorodskogo passazhirskogo obshchestvennogo transporta [Elektronnyy resurs]: monografiya / A.V. Vel'mozhin [i dr.]. - Volgograd: VolgGTU, 2002. - 256 s.
21. Yakunin N.N., Yakunina N.V. Kontseptual'nye polozheniya organizatsii transportnogo obsluzhivaniya naseleniya avtomobil'nym transportom po marshrutam regul'yarnykh perevozok // Materialy mezinarodni vedecko-praktika conference «Dny vedy – 2012» - Dil 90. Technicke vedy: Praha. - S. 17-21.
22. Yakunin N.N., Yakunina N.V., Spirin A.V. Model' organizatsii transportnogo obsluzhivaniya naseleniya avtomobil'nym transportom po marshrutam regul'yarnykh perevozok // Gruzovoe i passazhirskoe khozyaystvo. - 2013. - №3. - S. 78-83.
23. Yakunina N.V. Sovershenstvovanie metodologii opredeleniya struktury podvizhnogo sostava gorodskogo passazhirskogo avtomobil'nogo transporta // Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. - 2011. - №10. - S. 13-19.

Rassokha Vladimir Ivanovich

Orenburg State University
Adress: 460018, Russia, Orenburg, Pobedy ave., 13
Doctor of technical sciences
E-mail: cabin2012@yandex.ru

Nikitin Nikolai Andreevich

Kuban State Technological University
Adress: 350072, Russia, Krasnodar, Moskovskaya str., 2
Senior lecturer
E-mail: sofi008008@yandex.ru

Научная статья

УДК 656.02

doi:10.33979/2073-7432-2023-4-1(83)-91-98

А.М. НАСЫБУЛЛИН, Л.Р. АЙСИНА, М.Д. ДОМАНИ

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА КОМБИНИРОВАННОМ ХОДУ ДЛЯ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК

Аннотация. Целью исследования является изучение потенциала использования подвижного состава на комбинированном ходу для повышения транспортной доступности удаленных населенных пунктов. Задачами исследования является изучение международного и поиск потенциальных участков эксплуатации на территории Российской Федерации. В качестве пилотного рассмотрен маршрут Томск–Итатка–Нижние Соколы – Асино. Разработана технология заезда на железнодорожный путь. Представлены математические подходы учета расходов перевозчика.

Ключевые слова: подвижной состав на комбинированном ходу, пассажирские перевозки, транспортная доступность, маршрут общественного транспорта, малые населенные пункты

Введение

Тренд на внедрение многофункциональных технических средств прослеживается как в бытовой, так и в промышленной сферах.

На железнодорожном транспорте общего и необщего пользования ежегодно отмечается тренд на эксплуатацию автомобильно-железнодорожных транспортных средств, призванных быть доступной альтернативой для технического обслуживания и ремонта инфраструктуры железнодорожного транспорта, доставки грузов и работников по рельсовым и безрельсовым путям, выполнения маневровых работ, а также для тушения пожаров и проведения аварийно-восстановительных работ. В нормативно-правовой документации данные транспортные средства называются специальным подвижным составом на комбинированном ходу (далее – СПС КХ).

Несмотря на активное внедрение таких машин для технико-технологических задач, в секторе пассажирских железнодорожных перевозок на территории Российской Федерации автомобильно-железнодорожные транспортные средства не используются.

Материал и методы

Зарубежный опыт

Анализ зарубежного опыта показал как положительные, так и отрицательные примеры применения автобусов и омнибусов на железнодорожно-автомобильном ходу (Великобритания и Германия), а также заинтересованность к внедрению – во Франции и США.

Так, например, опыт использования автобуса Ro-Railer (Великобритания, 1930-е) оказался неудачным, поскольку из-за ненадежной конструкции комбинированных механизмов эксплуатантам пришлось перекалывать транспортное средство для технологических нужд [5], а немецкие омнибусы (Schienen-Straßen-Omnibus), использовавшиеся в середине 1950-х не получили распространение из-за невозможности их эксплуатации в зимнее время года [6]. О завершении испытаний и запуске подвижного состава в эксплуатации во Франции и США нет достоверных данных.

В качестве положительного опыта стоит отметить подходы Японии, которые позволили организовать в 2021 году комбинированное движение автобусов в труднодоступном районе префектуры Токусима. Маршрут проходит по железнодорожным путям между станцией Ава Кайнан и горячими источниками Шишикуй общей длиной 8500 м.

Для обеспечения заезда и съезда с железнодорожных путей модернизированных автобусов Toyota Coaster (рис. 1) используются специальные пункты в виде бетонных площадок с направляющими (рис. 2) [7-9], которые позволяют позиционировать автобусы над рельсовой колеей.

Таким образом использование транспортных средств на комбинированном ходу для пассажирских перевозок может являться доступной альтернативой в случае:

- экономической неэффективности запуска классического железнодорожного подвижного состава;
- неудовлетворительного состояния автодорожного покрытия в населенных пунктах, тяготеющих к железнодорожным линиям;
- невозможности сооружения автомобильной дороги между населенными пунктами, попадающими в зону тяготения к железнодорожным линиям;
- высокой загруженности автомобильной дороги, при низких значениях размеров движения на дублирующей железнодорожной линии.



Транспортное средство в режиме движения по автомобильным дорогам



Транспортное средство в режиме движения по железнодорожным путям

Рисунок 1 – Toyota Coaster на комбинированном ходу (Япония)



Рисунок 2 – Бетонная площадка с направляющими для заезда подвижного состава на комбинированном ходу на железнодорожный путь (Япония)

Перспективы эксплуатации на территории Российской Федерации

Большое количество населенных пунктов Российской Федерации не обеспечены маршрутами общественного транспорта. Низкая транспортная доступность провоцирует развитие теневого рынка пассажирских перевозок, а главное – снижение привлекательности проживания в сельской местности. Первичный отток населения вызывает следующие, сокращается численность трудоспособного населения, не обеспечивается покрытие спроса на штат персонала, что приводит к закрытию сельских предприятий, снижению показателей аграрно-промышленного комплекса и других сельских предприятий. При этом для жителей большинства населенных пунктов формирование и поддержание устойчивых транспортных связей является индикатором работы органов власти.

В работе [10] отмечалась перспектива решения проблемы повышения доступности отдаленных населенных пунктов запуском райдшеринговых сервисов, однако это решение не может быть реализовано на участках, не имеющих автодорожного покрытия. Именно для организации регулярных пассажирских перевозок между населенными пунктами, имеющими неудовлетворительную связь с другими муниципальными образованиями посредством автодорожного сообщения, но расположенными вдоль железнодорожных линий, может быть рассмотрена возможность запуска подвижного состава (автобусов) на комбинированном автомобильно-железнодорожном ходу [11].

Опыт в производстве технологических маневровых машин и тягового подвижного состава на комбинированном ходу российскими предприятиями может стать базой для создания подвижного состава, предназначенного для пассажирских перевозок.

Нормативная база Российской Федерации не содержит правовых ограничений в допуске такого подвижного состава на железнодорожную инфраструктуру. Единственным условием является необходимость закрытия железнодорожного перегона для движения другого подвижного состава и получение соответствующего разрешения от дежурного по станции, ограничивающей перегон [12].

Потенциальной предпосылкой обеспечения возможности запуска в эксплуатацию на регулярных пассажирских маршрутах подвижного состава на комбинированном ходу можно считать включение порядка его движения (ранее регламентировавшегося только временной инструкцией [13]) в 2022 году в Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации [12].

Расчет

В качестве опытного полигона для апробации может выступить Томская область. Рассматриваемый пример характеризуется низкими размерами движения поездов на однопутном участке Томск-Асино и отсутствием альтернативного вида транспорта между ст. Итатка и о.п. 153-й км (с. Нижние Соколы). Запуск автобуса на комбинированном ходу между городами Томск и Асино, с прохождением по железнодорожной инфраструктуре между ст. Итатка и о.п. 153-й км позволит повысить транспортную доступность населенных пунктов, расположенных вдоль траектории маршрута (рис. 3).

На рисунке 3 представлена Объединенная изохрона 120-минутной таксомоторной доступности городов Асино и Томск, демонстрирующая отсутствие автодорожного полотна между Итаткой и с. Нижние Соколы.

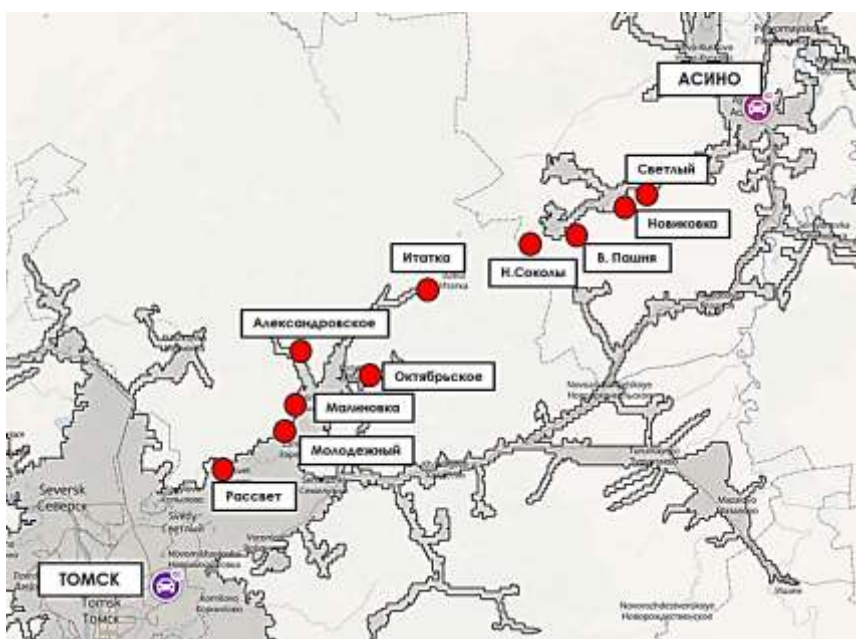


Рисунок 3 – Объединенная изохрона 120-минутной таксомоторной доступности городов Асино и Томск

Предлагается следующая организация маршрута общественного транспорта, которая предусматривает:

- движение от Томска до Итатки, с проездом через тяготеющие к автодороге 69Н-18 населенные пункты на автомобильном ходу;
- прибытие на автомобильном ходу к помещению, в котором расположены рабочие места дежурного по станции и начальника железнодорожной станции Итатка;
- заезд на железнодорожный путь станции Итатка;
- проследование от станции Итатка до о.п. 153 км (село Нижние Соколы) на железнодорожном ходу;
- съезд с железнодорожного пути в районе о.п. 153 км;
- проследование от о.п. 153 км (село Нижние Соколы) до города Асино по автодороге 69Н-26 на автомобильном ходу.

Технологический график операций по заезду автобусов на комбинированном ходу на железнодорожный путь и съезду с него представлены на рисунках 4 и 5 соответственно.

Последовательность операций представлена в соответствии с порядком, указанным в Приложении 17 к Инструкции по организации движения поездов и маневровой работы на железнодорожном транспорте Российской Федерации [12].

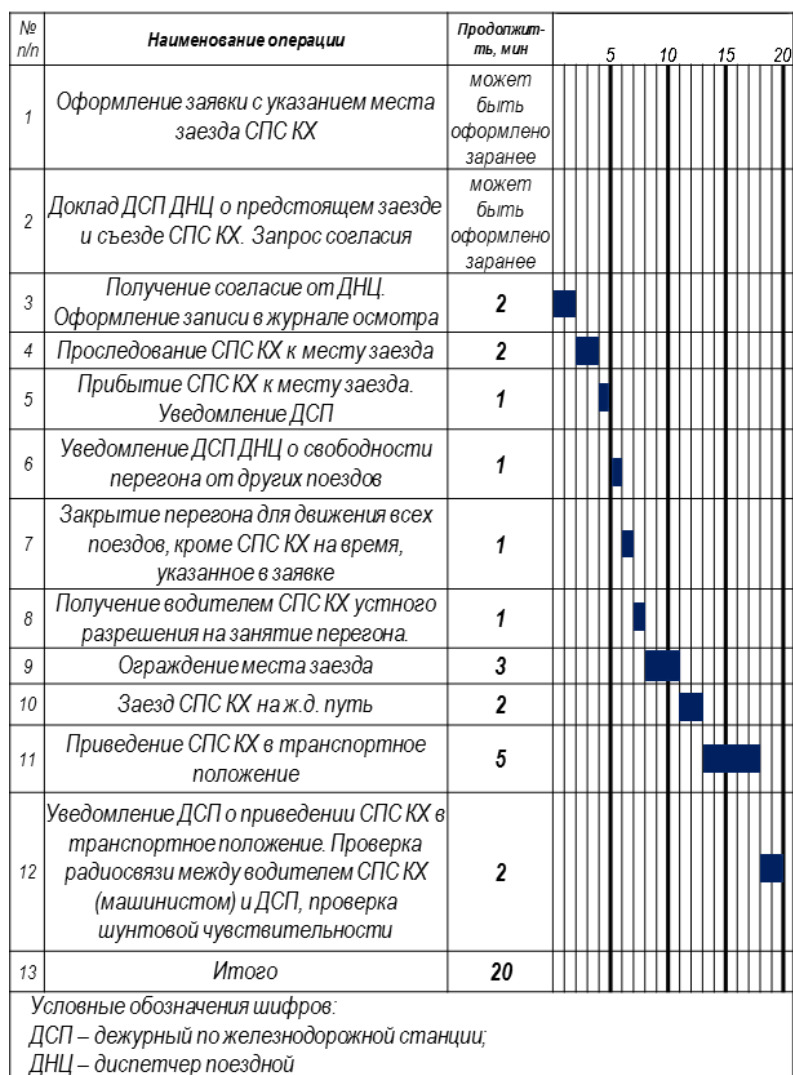


Рисунок 4 – Технологический график операций по заезду транспортного средства на комбинированном ходу и железнодорожный путь станции Итатка

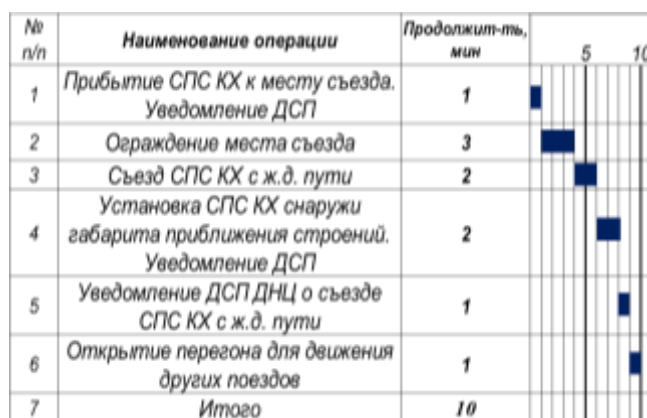


Рисунок 5 – Технологический график операций по съезду транспортного средства на комбинированном ходу с железнодорожного пути на о.п. 153 км

Таким образом, принимая во внимание действующее расписание общественного транспорта на отдельных автобусных маршрутах участка (представленное на картографическом сервисе Яндекс.Карты), а также скоростной режим проследования по железнодорожно-

му участку Томск – Асино (представленный на картографическом сервисе OpenRailwayMap), суммарная продолжительность поездки на общественном транспорте по маршруту Томск – Итатка – Нижние Соколы – Асино составит 2 ч 48 мин. Предполагается, что на маршруте будет большая сменяемость пассажиромест между малыми населенными пунктами. Доля пассажиров, следующих от начальной до конечной станции маршрута будет минимальной.

Упрощенный расчет потенциальной емкости пассажиропотока между населенными пунктами может быть произведен согласно формуле 1, основанной на принципах гравитационного взаимодействия в рамках классической механики.

$$П = K_{\Pi}^{\text{пасс}} \frac{ЧН1 * ЧН2}{L^2}, \quad (1)$$

где $K_{\Pi}^{\text{пасс}}$ – коэффициент потенциального пассажиропотока;

ЧН1, ЧН2 – численность населения в соответствующих населенных пунктах.

L – расстояние между населенными пунктами (52 км по автодороге и 13 км по железнодорожному пути).

$$K_{\Pi}^{\text{пасс}} = k_r * (1 - D_{\text{авт}}), \quad (2)$$

где k_r – коэффициент трудоспособного населения (для Томской области принимается в соответствии с [14, 15] и составляет 0,6);

$D_{\text{авт}}$ – средневзвешенный уровень автомобилизации населенных пунктов (для Томской области принят в размере 0,317 [16]).

В качестве значений показателей ЧН1 и ЧН2 принимается численность населения в населенных пунктах, расположенных вдоль автодороги Томск– Итатка и Нижние-Соколы – Асино без учета городов Томск и Асино, имеющих прямое сообщение общественным транспортом между собой. Показатели численности населения представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели численности населения в населенных пунктах, относимых к показателям ЧН1 и ЧН2

ЧН1		ЧН2	
Населённый пункт	Численность, чел	Населённый пункт	Численность, чел
Рассвет	1 866	Нижние Соколы	136
Молодежный	1 393	Вороно-Пашня	109
Малиновка	2 222	Светлый	369
Александровское	6 586	Новиковка	380
Октябрьское	1 708	-	-
Итатка	1 090	-	-
Итого	14 865	Итого	994

Таким образом показатель потенциальной емкости пассажиропотока принимает следующее значение:

$$П = \frac{0,6 * (1 - 0,317) * 14865 * 994}{65^2} = 1434 \text{ чел.}$$

Результаты и обсуждение

В соответствии со значением потенциальной емкости пассажиропотока (П), а так же после произведения расчетов величины густоты пассажиропотока, определения вместимости транспортного средства, времени в движении на маршруте и продолжительности оборота (отстоя на конечных пунктах) транспортного средства может быть рассчитано потребное количество транспортных средств на маршруте, размещение остановочных пунктов, размеры движения и потребный парк транспортных средств [17-22].

Предварительные расчеты определения затрат перевозчика могут быть произведены отдельно относительно каждого из участков маршрута. Так, для железнодорожного участка маршрута расходы перевозчика могут быть определены по формуле 3 [23]. В данном случае в качестве поезда следует понимать подвижной состав на комбинированном ходу, находящийся на железнодорожной инфраструктуре.

$$P_{\text{жд}} = \sum (\sum И + \sum n * a + \sum Nt * b + \sum nl * \sum c + P_{\text{соб}}), \quad (3)$$

где $P_{\text{жд}}$ – суммарные затраты перевозчика на подвижной состав и железнодорожную инфраструктуру, руб.;

И – плата за железнодорожную инфраструктуру с одного поезда (СПС КХ), руб.;

n – количество арендованных единиц СПС КХ, СПС КХ-ч;

a – ставка за аренду СПС КХ, руб./СПС КХ;

Nt – затраты поезда-часов, поезда-ч;

b – ставка за управление и эксплуатацию, руб./поездо-ч;

nl – затраты поезда-километров, поезда-км;

c – ставки за техническое обслуживание, технический и капитальный ремонт, руб./поездо-км.

$P_{\text{соб}}$ – собственные расходы перевозчика.

Для участка движения по автодорогам, расходы перевозчика могут быть определены по формуле 4 [24]:

$$P_{\text{авто}} = \sum(\sum B_{\text{БК}}^{\text{авто}} + \sum \text{ГСМ} + \sum(\text{Ш} + \text{ТО}) + \sum \text{Ам} + P_{\text{соб}}), \quad (4)$$

где $P_{\text{авто}}$ – суммарные затраты перевозчика на подвижной состав при движении по автодорожной инфраструктуре, руб.;

$B_{\text{БК}}^{\text{авто}}$ – фонд оплаты труда водителей и кондукторов, включая страховые взносы, руб./авто-км;

ГСМ – расходы на приобретение горюче-смазочных материалов и прочих эксплуатационных материалов для маршрутных автобусов, руб./авто-км;

Ш – расходы на износ и ремонт шин СПС КХ, руб./авто-км;

ТО – расходы на техническое обслуживание и эксплуатационный ремонт СПС КХ, руб./авто-км;

Ам – амортизация СПС КХ, руб./авто-км;

$P_{\text{соб}}$ – собственные расходы перевозчика.

Нормативы, включаемые в расчет расходов должны учитывать повышенный износ шин СПС КХ, а также сложность обслуживания и ремонта отдельных частей и агрегатов, предназначенных для движения отдельно по автодороге и железнодорожным путям.

Формирование ставок фонда оплаты труда должно учитывать повышенные требования к водителю СПС КХ, приравниваемого к машинисту подвижного состава.

Выводы

Вопрос о коммерческой эффективности подобных перевозок, особенно на начальных этапах внедрения, не должен быть ключевым, поскольку основной функцией является обеспечение социальной потребности в перевозках пассажиров.

Апробация предлагаемых мероприятий на участке Итатка – Нижние Соколы позволит принимать решение о дальнейшем тиражировании пассажирских перевозок в других труднодоступных населенных пунктах, не имеющих связи посредством автодорог, но расположенных вдоль железнодорожных путей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Официальный сайт производителя спецтехники (локобилей) – группы компаний МЗСА [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lokomobil.ru/>.
2. Официальный сайт дилера специальной техники Mercedes Unimog [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mercedes-unimog.ru/>.
3. Официальный сайт производителя экскаваторов на комбинированном ходу ATLAS 1604 ZW [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://atlasgmbh.com/en/products/rail-road-excavator/1604zw/>.
4. Официальный сайт Петербургского машиностроительного завода – производителя маневрового локомотива на комбинированном ходу СТАНИСЛАВ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tractor-pmz.ru/catalog/catalog/products/manevrovyy-tyagach-zheleznodorozhnyy-tyagach-lokomobil-stanislav/>.
5. The LMS Ro-Railer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.warwickshirerailways.com/lms/lms_ro-railer.htm.
6. Schi-Stra-Bus im Einsatz auf der Wutachtalbahn [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.wehratalbahn.de/Suedbadenbahn/SchiStra/schistrabus.htm>.
7. Japan to get world's 1st operational bus-train dual-mode vehicle [Электронный ресурс] / KYODO NEWS. – Режим доступа: <https://english.kyodonews.net/news/2021/11/ccad96867e04-japan-to-get-worlds-1st-operational-bus-train-dual-mode-vehicle.html>.
8. Официальный сайт Asa Coast Railway Company [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://asatetu.com/>.

9. Автобусы на комбинированном ходу // Железные дороги мира. – 2022. – №2. – С. 51-55.
10. Вакуленко С.П., Кравцов А.С., Насыбуллин А.М. и др. Организация совместных пассажирских автоперевозок на малоинтенсивных направлениях // Вестник транспорта Поволжья. – 2022. – №4(94). – С. 41-46.
11. Эффективность эксплуатации и обслуживания малоинтенсивных железнодорожных линий / С.П. Вакуленко, А.В. Колин, Н.Ю. Евреенова и др.; Под ред. Вакуленко С.П. – Москва: Всероссийский институт научной и технической информации РАН, 2018. – 218 с.
12. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации; утв. Приказом Минтранса России от 23.06.2022г. №250.
13. Временная инструкция по эксплуатации съемных подвижных единиц на комбинированном ходу на инфраструктуре ОАО «РЖД»; утв. Распоряжением ОАО «РЖД» от 06.02.2014г. №289 р.
14. Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Томской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://70.rosstat.gov.ru>.
15. Официальный интернет-портал Администрации Томской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tomsk.gov.ru/otchet-o-deyatelnosti-v-2021-godu>.
16. Официальный сайт Федеральной государственной статистики. Раздел «Транспорт» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport>.
17. Vuchic V.R. Urban transit: operations, planning, and economics. – Hoboken, New Jersey: Wiley, 2005. – 672 p.
18. Walker Jarrett. Human transit. ISLAND PRESS, 2012. – 244 p.
19. Тимкова А.Ю., Шорохова Л.С. Организация безопасности движения и управление перевозочным процессом на автомобильном транспорте. – Екатеринбург: ООО «Издательские решения», 2023. – 208 с.
20. Шмаль В.Н., Айсина Л.Р. Поиск оптимального решения для назначения пригородно-городских поездов на разветвленных участках по каждому из возможных маршрутов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2020. – Т. 14. - №11. – С. 39-45. – DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-11-39-45.
21. Shmal V.N., Minakov P.A., Aisina L.R. The task of organizing suburban and urban traffic on sections with branches // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: XIII International Scientific Conference Architecture and Construction 2020. - Vol. 953. – Bristol: IOP Publishing Ltd. - 2020. – P. 012085. – DOI 10.1088/1757-899X/953/1/012085.
22. Вакуленко С.П., Айсина Л.Р., Шмаль В.Н., Насыбуллин А.М. Расписание движения поездов с учетом удобства пересадки для пассажиров // Экономика железных дорог. – 2022. – №4. – С. 67-74.
23. Об утверждении Порядка ведения раздельного учета доходов, расходов и финансовых результатов по видам деятельности, тарифным составляющим и укрупненным видам работ открытого акционерного общества «Российские железные дороги»: Приказ Минтранса РФ от 31.12.2010 №311.
24. Методические рекомендации по расчету тарифов на регулярные перевозки пассажиров и багажа в городском и пригородном сообщении автомобильным и городским электрическим транспортом общего пользования (кроме железнодорожного транспорта); утв. Распоряжением Минтранса России от 18.04.2013 № НА-37-р.

Насыбуллин Айрат Марсович

Российский университет транспорта (МИИТ)

Адрес: 127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9

Заместитель начальника научно-образовательного центра «Независимые комплексные транспортные исследования», старший преподаватель

E-mail: nasybullin.airat@mail.ru

Айсина Лилия Риантовна

Российский университет транспорта (МИИТ)

Адрес: 127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9

Старший преподаватель

E-mail: l.r.aysina@mail.ru

Домани Марта Дмитриевна

Российский университет транспорта (МИИТ)

Адрес: 127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9

Студент

E-mail: martadomani@mail.ru

A.M. NASYBULLIN, L.R. AYSINA, M.D. DOMANI

PROSPECTS FOR THE USE OF ROAD-RAIL-VEHICLE FOR PASSENGER TRANSPORTATION

Abstract: The goal of research is analysis of potential using of road-rail vehicles to increase the transport accessibility of remote settlements. Analysis of global best practice and searching of potential districts for using road-rail vehicles in Russian federation are researching task. The Tomsk-Iatka-Nizhniye Sokoly-Asino route was considered as a pilot project. The article also shows the technological schedule of road-rail vehicle arrival on the railway track and mathematical approaches to accounting for the carrier's expenses.

Keywords: Road-rail vehicle, railbus, passenger transportation, transport accessibility, public transport route, small settlements

BIBLIOGRAPHY

1. Ofitsial'nyy sayt proizvoditelya spetsstekhniki (lokomobily) - gruppy kompaniy MZSA [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://lokomobil.ru/>.
2. Ofitsial'nyy sayt dilera spetsial'noy tekhniki Mercedes Unimog [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://mercedes-unimog.ru/>.
3. Ofitsial'nyy sayt proizvoditelya ekskavatorov na kombinirovannom khodu ATLAS 1604 ZW [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://atlasgmbh.com/en/products/rail-road-excavator/1604zw/>.
4. Ofitsial'nyy sayt Peterburgskogo mashinostroitel'nogo zavoda - proizvoditelya manevrovogo lokomotiva na kombinirovannom khodu STANISLAV [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://tractor-pmz.ru/catalog/catalog/products/manevrovyy-tyagach-zheleznodorozhnyy-tyagach-lokomobil-stanislav/>.
5. The LMS Ro-Railer [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: https://www.warwickshirerailways.com/lms/lms_ro-railer.htm.
6. Schi-Stra-Bus im Einsatz auf der Wutachtalbahn [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <http://www.wehratalbahn.de/Suedbadenbahn/SchiStra/schistrabus.htm>.
7. Japan to get world's 1st operational bus-train dual-mode vehicle [Elektronnyy resurs] / KYODO NEWS. - Rezhim dostupa: <https://english.kyodonews.net/news/2021/11/ccad96867e04-japan-to-get-worlds-1st-operational-bus-train-dual-mode-vehicle.html>.
8. Ofitsial'nyy sayt Asa Coast Railway Company [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://asatetu.com/>.
9. Avtobusy na kombinirovannom khodu // ZHelezye dorogi mira. - 2022. - №2. - S. 51-55.
10. Vakulenko S.P., Kravtsov A.S., Nasybullin A.M. i dr. Organizatsiya sovместnykh passazhirskikh avtoperevozok na malointensivnykh napravleniyakh // Vestnik transporta Povolzh'ya. - 2022. - №4(94). - S. 41-46.
11. Effektivnost' ekspluatatsii i obsluzhivaniya malointensivnykh zheleznodorozhnykh liniy / S.P. Vakulenko, A.V. Kolin, N.Yu. Evreenova i dr.; Pod red. Vakulenko S.P. - Moskva: Vserossiyskiy institut nauchnoy i tekhnicheskoy informatsii RAN, 2018. - 218 s.
12. Pravila tekhnicheskoy ekspluatatsii zheleznykh dorog Rossiyskoy Federatsii; utv. Prikazom Mintransa Rossii ot 23.06.2022g. №250.
13. Vremennaya instruktsiya po ekspluatatsii s'emnykh podvizhnykh edinit na kombinirovannom khodu na infrastrukture OAO «RZHD»; utv. Rasporyazheniem OAO «RZHD» ot 06.02.2014g. №289 r.
14. Territorial'nogo organa Federal'noy sluzhby gosudarstvennoy statistiki po Tomskoy oblasti [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://70.rosstat.gov.ru>.
15. Ofitsial'nyy internet-portal Administratsii Tomskoy oblasti [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://tomsk.gov.ru/otchet-o-deyatelnosti-v-2021-godu>.
16. Ofitsial'nyy sayt Federal'noy gosudarstvennoy statistiki. Razdel «Transport» [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport>.
17. Vuchic V.R. Urban transit: operations, planning, and economics. - Hoboken, New Jersey: Wiley, 2005. - 672 p.
18. Walker Jarrett. Human transit. ISLAND PRESS, 2012. - 244 p.
19. Timkova A.Yu., Shorokhova L.S. Organizatsiya bezopasnosti dvizheniya i upravlenie perevozochnym protsessom na avtomobil'nom transporte. - Ekaterinburg: OOO «Izdatel'skie resheniya», 2023. - 208 s.
20. Shmal' V.N., Aysina L.R. Poisk optimal'nogo resheniya dlya naznacheniya prigorodno-gorodskikh poezdov na razvetvlennykh uchastkakh po kazhdomu iz vozmozhnykh marshrutov // T-Comm: Telekommunikatsii i transport. - 2020. - T. 14. - №11. - S. 39-45. - DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-11-39-45.
21. Shmal' V.N., Minakov P.A., Aysina L.R. The task of organizing suburban and urban traffic on sections with branches // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: XIII International Scientific Conference Architecture and Construction 2020. - Vol. 953. - Bristol: IOP Publishing Ltd. - 2020. - P. 012085. - DOI 10.1088/1757-899X/953/1/012085.
22. Vakulenko S.P., Aysina L.R., Shmal' V.N., Nasybullin A.M. Raspisanie dvizheniya poezdov s uchetom udobstva peresadki dlya passazhirov // Ekonomika zheleznykh dorog. - 2022. - №4. - S. 67-74.
23. Ob utverzhenii Poryadka vedeniya razdel'nogo ucheta dokhodov, raskhodov i finansovykh rezul'tatov po vidam deyatel'nosti, tarifnym sostavlyayushchim i ukрупnennym vidam rabot otkrytogo aktsionernogo obshchestva «Rossiyskie zhelezye dorogi»: Prikaz Mintransa RF ot 31.12.2010 №311.
24. Metodicheskie rekomendatsii po raschetu tarifov na regul'yarnye perevozki passazhirov i bagazha v gorodskom i prigorodnom soobshchenii avtomobil'nyy i gorodskim elektricheskim transportom obshchego pol'zovaniya (krome zheleznodorozhnogo transporta); utv. Rasporyazheniem Mintransa Rossii ot 18.04.2013 № NA-37-r.

Nasybullin Ayrat Marsovich

Russian University of transport
Address: 127994, Russia, Moscow, Obraztsova str., 9, p. 9
Deputy chief of research and educational centre
«Nezavisimye kompleksnye transportnye issledovaniya»,
senior teacher
E-mail: nasybullin.airat@mail.ru

Aysina Liliya Rinatovna

Russian University of transport
Address: 127994, Russia, Moscow, Obraztsova str., 9, p. 9
Senior teacher
E-mail: l.r.aysina@mail.ru

Domani Marta Dmitrievna

Russian University of transport
Address: 127994, Russia, Moscow, Obraztsova str., 9, p. 9
Student
E-mail: martadomani@mail.ru

Научная статья

УДК 656.015

doi:10.33979/2073-7432-2023-4-1(83)-99-106

Л.Е. КУЩЕНКО, С.В. КУЩЕНКО, А.С. КАМБУР, И.А. УЛИНЕЦ

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ВЫБОРА ДЛИТЕЛЬНОСТИ РАЗРЕШАЮЩЕГО СИГНАЛА СВЕТОФОРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВАНИИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Аннотация. В статье рассмотрен метод распознавания лица человека на базе сверточных нейронных сетей для разработки методики определения рационального выбора длительности разрешающего сигнала светофорного регулирования на основании нейронной сети. Преимущество использования сверточных нейронных сетей заключается в том, что они обеспечивают устойчивость к изменениям условий распознавания лиц, а также способностью обработки большой базы данных. Обоснована топология используемой сверточной нейронной сети и методика ее обучения. Приведен фрагмент описания кода программы, который корректирует длительность разрешающего сигнала светофорного регулирования для пешеходных потоков в режиме реального времени. Указаны способы увеличения точности распознавания сверточной нейросети.

Ключевые слова: дорожное движение, пешеходный поток, сверточная нейронная сеть, модель, код программы, длительность разрешающего сигнала светофорного регулирования, стратегия

Введение

Интенсивность движения транспортных потоков (ТП) и пешеходных потоков (ПП) является одним из важных факторов, влияющих не только на пропускную способность дороги, но и на безопасность дорожного движения (БДД).

Рациональное управление ПП благоприятно влияет на улучшение пропускной способности автодороги, снижение заторов и рисков возникновения дорожно-транспортных происшествий (ДТП) с участием пешеходов, а также количество выбросов вредных веществ в атмосферу.

Посредством нейронной сети и методики ее обучения наблюдается положительная динамика при управлении длительностью разрешающего сигнала светофорного регулирования для ПП.

Управлению движением ТП и ПП посвящено множество разработок, методов, моделей, стратегий как в России, так и за рубежом.

Стратегия БДД в Российской Федерации на 2018-2024 годы и Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года обеспечивают целостный (системный) подход к решению проблемы дорожно-транспортного травматизма.

Анализ наездов на пешеходов на регулируемых ПП проведен на базе официальных данных ГИБДД в г. Белгороде (рис. 1).

Материал и методы

Эффективным методом для рационального управления ПП является применение сверточной нейросети (Convolutional Neural Network - CNN).

Основная идея данного метода заключается в том, чтобы использовать сверточные слои для извлечения локальных признаков из входных данных и уменьшения их размерности, а затем использовать полносвязные слои для классификации или регрессии [3].

Разнородность состава потока, скорость и интенсивность движения, возраст пешеходов представляют собой основные характеристики ПП, которые посредством применения сверточной нейронной сети позволяют управлять циклом светофорного регулирования ПП в режиме реального времени.

Остановимся подробно на каждой характеристике пешеходного потока (табл. 1).



Рисунок 1 – Количество ДТП с участием пешеходов на регулируемых ПП за период 2018-2022 гг. в городе Белгороде

Таблица 1 – Характеристика пешеходного потока

Возраст	Пол	Скорость движения км/ч	Плотность пешеходного потока
Дети	Мужской	Средняя (5-10)	Средняя
	Женский		
Взрослые	Мужской	Быстрая (>10)	Низкая
	Женский		
Пожилые	Мужской	Медленная (<5)	Высокая
	Женский		

Обучение сверточных нейронных сетей обеспечивает устойчивость к изменениям условий распознавания лиц, а также способность обработки большой базы данных.

Теория

Сверточная нейросеть - это тип нейронной сети, который обрабатывает входные данные, такие как изображения, тексты или звуковые сигналы, с помощью сверточных слоев, которые извлекают признаки из входных данных [4, 10]. Широко используются в задачах обработки изображений, таких как распознавание объектов, сегментация изображений, классификация изображений и других. Они также могут быть применены в задачах обработки звуковых сигналов и текстов [5, 11].

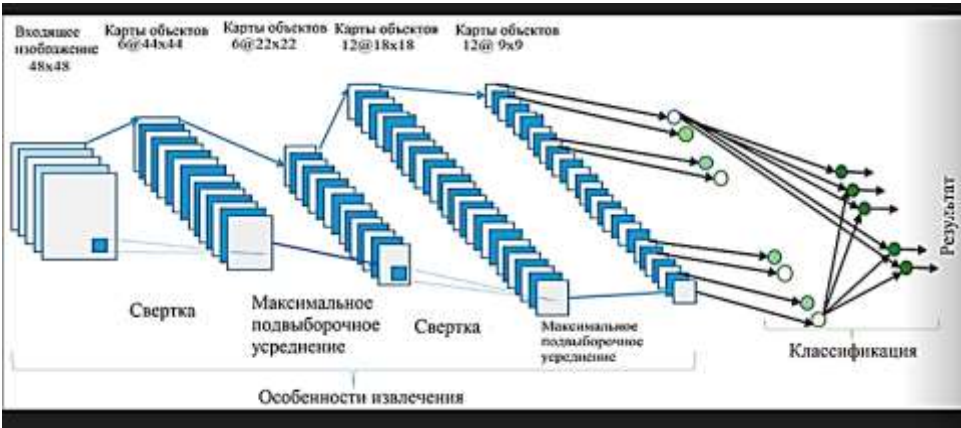


Рисунок – 2 Фильтры сверточных слоев нейронной сети

Сверточные слои содержат наборы фильтров (ядер свертки), которые сканируют входные данные, извлекая признаки в каждой позиции (рис. 2). Каждый фильтр представляет собой небольшую матрицу весов, которая перемещается по всему входному изображению (или другим входным данным) и вычисляет скалярное произведение между весами фильтра

и соответствующей областью входа [6, 12, 14]. Результаты свертки образуют карты признаков, содержащие информацию о локальных структурах входных данных.

Затем следует слой пулинга (Pooling Layer), который уменьшает размерность карт признаков, объединяя соседние значения в каждой карте признаков в одно значение [7, 13]. Это позволяет уменьшать количество параметров и вычислений в сети, а также улучшает инвариантность к малым изменениям входных данных.

После нескольких сверточных и пулинговых слоев обычно следует полносвязный слой (Fully Connected Layer) [8, 15], который используется для классификации или регрессии на основе извлеченных признаков (рис. 3).

Для обучения сверточной нейронной сети используется метод обратного распространения ошибки (Backpropagation), который позволяет оптимизировать веса нейросети на основе заданной функции потерь [9]. Как правило, обучение сверточной нейронной сети требует большого количества данных и вычислительных ресурсов.

Наглядно структура обучения сверточной нейронной сети при распознавании лица (образа) человека выглядит следующим образом (рис. 4):

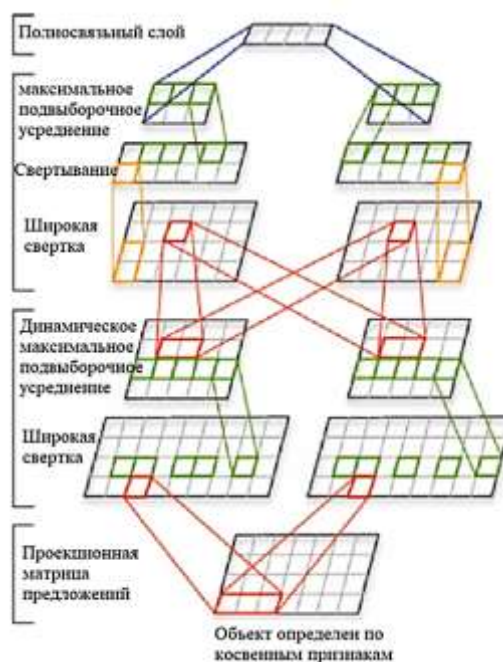


Рисунок 3 - Полносвязный слой (Fully Connected Layer)



Рисунок 4 - Структура обучения сверточной нейронной сети

Конечная цель данной программы - определить пол и возраст людей на изображении и управлять длительностью разрешающего сигнала светофора в зависимости от этих данных [17]. Для достижения этой цели программа использует несколько инструментов и технологий.

Результаты и обсуждение

Для изучения основных характеристик ПП был выбран регулируемый ПП на пересечении ул. Студенческая – ул. Некрасова в г. Белгороде (рис. 5), на котором проведены детальные исследования по:

- составу ПП;
- скорости движения ПП;
- плотности ПП.

Считывание параметров пешеходного потока осуществляется датчиками движения.



Рисунок 5 – Пешеходный переход на ул. Студенческая г. Белгорода

На данном пересечении наибольшее количество людей можно встретить в дневной час-пик - 504 чел./час. В утренний час-пик заметно увеличивается количество пешеходов - 492 чел./час. Вечерний час-пик отличается меньшей интенсивностью ПП - 464 чел./час.

Анализ данных позволил разработать модель, повышающую БДД с участием пешеходов на основании сверточной нейронной сети.

Представлен фрагмент кода программы для регулирования цикла светофорного объекта в зависимости от характеристики ПП (рис. 6).

```
if num_faces > 1:  
    avg_age = total_age / num_faces  
    if 20 <= avg_age <= 45:  
        self.red_duration = 15  
        self.green_duration = 30  
    elif avg_age < 20 or avg_age > 45:  
        self.red_duration = 22  
        self.green_duration = 23  
else:  
    self.red_duration = 20  
    self.green_duration = 25
```

Рисунок 6 – Фрагмент кода программы для регулирования Цикла светофорного объекта ПП

В методе `run` происходит основная работа программы [16]. Загружаются каскады Хаара для обнаружения лиц, открывается камера для работы с изображениями. Затем для каждого обнаруженного лица на изображении происходит определение возраста и пола с помощью нейронных сетей. Количество мужчин и женщин подсчитывается, а также вычисляется средний возраст. Результаты выводятся на изображение (рис. 7).

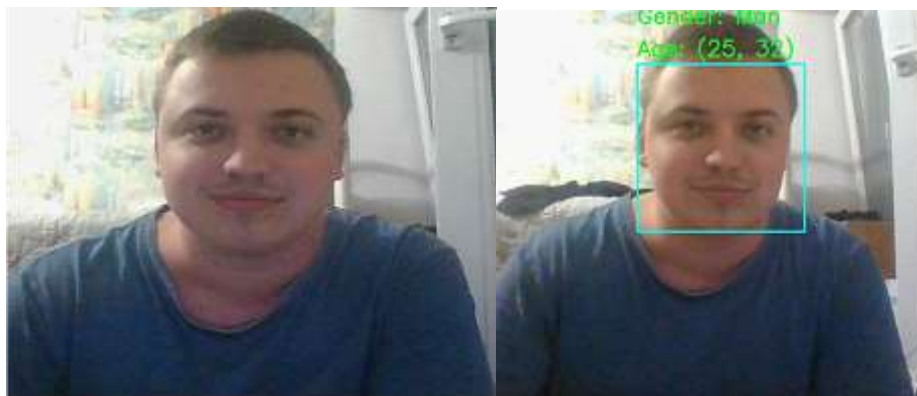


Рисунок 7 - Изображение до и после обработки его программой

Далее происходит определение текущего статуса светофора. Если на изображении обнаружено более одного лица, то в зависимости от среднего возраста изменяется время работы светофора (рис. 8).

В данной программе основную роль играет модель сверточной нейросети age_net. Конечная цель модели age_net, используемой в программе, - определить возраст человека на изображении. Для достижения этой цели модель обучена на большом наборе данных, содержащем тысячи изображений лиц с разными возрастами. Модель использует сверточные нейронные сети для обработки изображений и извлечения признаков, а затем применяет полносвязные слои для определения возраста [18].

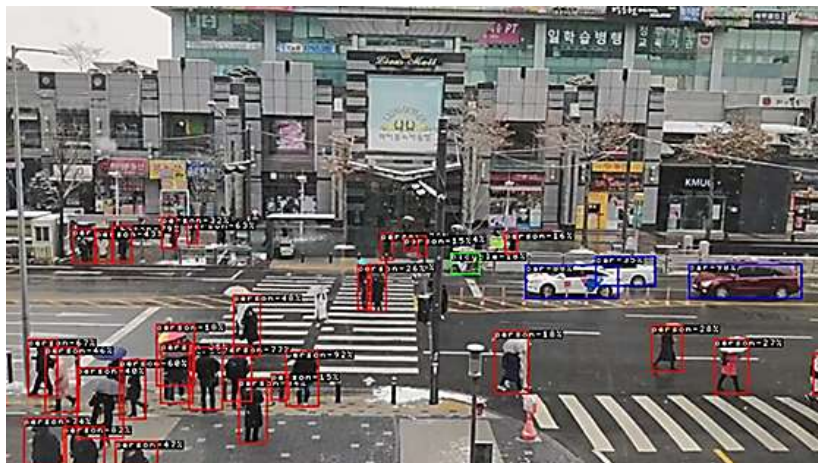


Рисунок 8 – Определение длительности сигнала светофора

При корректировке весового значения сверточной нейронной сети применяется методика оптимизации, позволяющая поэтапно уменьшать ошибки на каждом периоде или эпохе обучения. Оптимизатор Adam является важнейшим звеном в процессе моделирования и применения методики оптимизации для глубокого обучения [19].

Важным аспектом обучения модели age_net является предобработка данных. Для того, чтобы модель могла эффективно обучаться, изображения лиц должны быть нормализованы и приведены к одному размеру. Кроме того, необходимо учитывать возможные искажения в данных, такие как изменение освещения или повороты головы на изображении. Для этого используются различные методы аугментации данных, которые позволяют создавать новые обучающие примеры путем изменения яркости, контрастности, поворота и тому подобные способы (рис. 9).

Модель age_net - это пример того, как нейронные сети могут использоваться для решения задач обработки изображений и распознавания объектов на них. Модель age_net обучена на большом наборе данных и может быстро и точно определять возраст на изображении. Такие модели могут быть полезны во многих областях, от медицинских приложений, где необходимо определить возраст пациента на основе медицинских изображений, до различных приложений в области безопасности, где необходимо автоматически определять возраст и пол людей на видеонаблюдении.

Данная программа показывает, как с помощью нейронных сетей, инструментов и технологий можно создавать интеллектуальные системы, которые могут анализировать изображения и принимать решения в режиме реального времени. Такие системы могут быть полезны во многих областях, от управления транспортными потоками до диагностики медицинских изображений [20].

Способы увеличения точности распознавания сверточной нейросети:

1) увеличение размера и глубины модели: увеличение числа слоев и размерности сверточных фильтров может улучшить качество распознавания. Однако, увеличение размера модели может привести к увеличению времени тренировки и ресурсоемкости;

2) использование предобученных моделей: можно использовать предобученные модели, которые обучены на большом количестве данных, например, на датасетах ImageNet или COCO. Это может улучшить качество распознавания на новых данных;

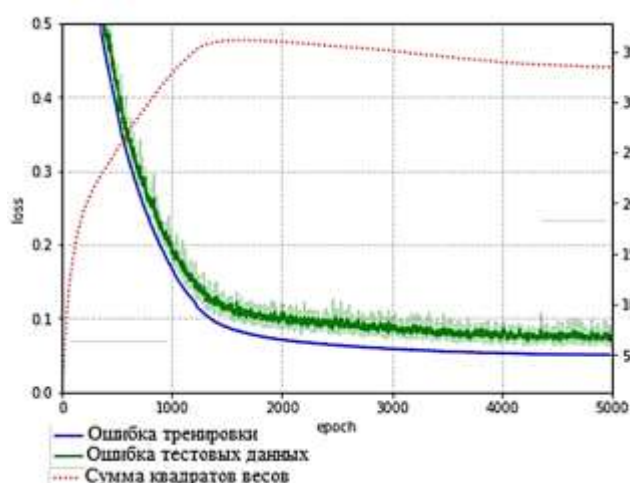


Рисунок 9 – График обучения сверточной нейронной сети *age_net*

тренировки. Это позволяет уменьшить переобучение и улучшить обобщающую способность модели.

Выводы

Разработанная модель, повышающая БДД с участием пешеходов, показывает, как с помощью нейронных сетей и других инструментов, технологий можно создавать интеллектуальные системы, которые могут анализировать изображения и принимать решения в режиме реального времени.

Сверточные нейронные сети позволяют рационально управлять как пешеходными потоками, так и циклами светофорного объекта для данных потоков.

Благодарность

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев А.П. Эксплуатация автомобильных дорог.: учебник для студ. высших учеб. заведений. - В 2 т. - М.: Издательский центр «Академия», 2010. - 320 с.
2. Кущенко Л.Е. Камбур А.С. Особенности анализа аварийности с участием пешеходов на территории Белгородской области // Мир транспорта и технологических машин. – Орел. - 2023. - №3-4(82). - С. 70-77.
3. Гай Л.Е., Шутов А.И., Воля П.А., Кущенко С.В. Заторовые явления. Возможности предупреждения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2013. - №3.
4. Жанказиев С.В. Разработка проектов интеллектуальных транспортных систем: Учебное пособие. – М.: МАДИ, 2016. – 22 с.
5. Кущенко Л.Е. Камбур А.С., Пехов А.А. Совершенствование организации дорожного движения посредством применения интеллектуальных транспортных систем // Мир транспорта и технологических машин. – Орел. - 2021. - №3(74). - С. 83-91.
6. Новиков И.А. Технические средства организации движения: учебно-методический комплекс. - Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2009. - 302 с.
7. Kambur A., Kushchenko L., Novikov I. Improving traffic management through the use of intelligent transport systems // Information Technologies and Management of Transport Systems: The VII International Scientific and Practical Conference (ITMTS 2021), MATEC Web Conf. – Vol. 341. - 2021.
8. Зырянов В.В., Кочерга В.Г., Поздняков М.Н. Современные подходы к разработке комплексных схем организации дорожного движения // Транспорт Российской Федерации. - СПб. – №1. - 2011. - С. 28-33.
9. Новиков И.А., Кущенко Л.Е., Новописный Е.А., Камбур А.С. Использование интеллектуальных транспортных систем для повышения качества организации дорожного движения // Мир транспорта и технологических машин. - 2022. - №3-4(78). – С. 42-49.
10. Новиков А.Н., Кущенко Л.Е., Новописный Е.А., Камбур А.С. Статистический анализ вероятности возникновения дорожно-транспортных происшествий на основе данных интеллектуальных транспортных систем Белгородской агломерации // Вестник гражданских инженеров. - 2022. - №5(94). – С. 116-122.

11. Жанказиев С.В. Интеллектуальные транспортные системы: Учебное пособие. – М.: МАДИ, 2016. – 14 с.
12. Жанказиев С.В. Имитационное моделирование в объектах ИТС: Учебное пособие. – М.: МАДИ, 2016. – 40 с.
13. Кущенко Л.Е., Бобешко А.С., Кущенко С.В., Новиков И.А. Комплексная оценка и анализ показателей дорожно-транспортных происшествий на примере регионов Черноземья // Мир транспорта и технологических машин. - 2018. - №4(63). - С. 62–68.
14. Daniel T., Lepers B. Automatic incident detection: a key tool for intelligent traffic management // Traffic technology international: Annual Review. – 1996. - P. 158-162.
15. Driver vigilance devices: systems review. - London, Railway Safety, 2002. – 105 с.
16. Campbell B.J., Levine D. Accident proneness and driver license programs // First International Conference on Driver Behavior, Zurich, Switzerland. – 1973. – P. 1-12.
17. Kulmala R., Noukka M. Rating the objectives. Finland's ITS strategy to 2010 // Traffic technology international. – 1998. - P. 62-66.
18. Nuttal I. Hunting out the budgets. An informal look at who's spending what ITS // Traffic technology international. – 1998. – P. 21-22.
19. Nuttal I. Will the tigers roar? ITS market potential in ASEAN region // Traffic Technology International. - 1998. – P. 60-64.
20. Kushchenko L., Kushchenko S., Novikov A., Kambur A. The use of information technology «Auto – Intellect» to improve the quality of traffic management // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2021.

Кущенко Лилия Евгеньевна

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, 46
К.т.н., доцент
E-mail: lily-041288@mail.ru

Кущенко Сергей Викторович

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

Камбур Алина Сергеевна

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, 46
Ассистент
E-mail: bobeshko.alya@mail.ru

Улинец Иосиф Алексеевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет
Адрес: 308015, Россия, г. Белгород, ул. Победы, 85
Магистрант
E-mail: ulinetz.iosif@yandex.ru

L.E. KUSCHENKO, S.V. KUSCHENKO, A.S. KAMBUR, I.A. ULINETS

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR DETERMINING RATIONAL CHOICE OF THE DURATION OF TRAFFIC LIGHT CONTROL PERMISSIBLE SIGNAL BASED ON A NEURAL NETWORK

Abstract. The article discusses a method for recognizing a person's face based on convolutional neural networks to develop a method for determining the rational choice of the duration of the permissive traffic light signal based on a neural network. The advantage of using convolutional neural networks is that they provide robustness to changes in face recognition conditions, as well as the ability to process a large database. The topology of the used convolutional neural network and the methodology for its training are substantiated. A fragment of a description of the program code is given that adjusts the duration of the permissive traffic light signal for pedestrian flows in real time. Methods are indicated to increase the recognition accuracy of a convolutional neural network.

Keywords: road traffic, pedestrian flow, convolutional neural network, model, program code, duration of the traffic light control permitting signal, strategy

BIBLIOGRAPHY

1. Vasil'ev A.P. Eksploatatsiya avtomobil'nykh dorog.: uchebnik dlya stud. vysshikh ucheb. zavedeniy. - V 2 t. - M.: Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2010. - 320 s.
2. Kushchenko L.E. Kambur A.S. Osobennosti analiza avariynosti s uchastiem peshekhodov na territorii Belgorodskoy oblasti // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - Orel. - 2023. - №3-4(82). - S. 70-77.
3. Gay L.E., Shutov A.I., Volya P.A., Kushchenko S.V. Zatorovye yavleniya. Vozmozhnosti preduprezhdeniya // Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova. - 2013. - №3.
4. Zhankaziev S.V. Razrabotka proektov intellektual'nykh transportnykh sistem: Uchebnoe posobie. - M.: MADI, 2016. - 22 s.
5. Kushchenko L.E. Kambur A.S., Pekhov A.A. Sovershenstvovanie organizatsii dorozhnogo dvizheniya posredstvom primeneniya intellektual'nykh transportnykh sistem // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - Orel. - 2021. - №3(74). - S. 83-91.
6. Novikov I.A. Tekhnicheskie sredstva organizatsii dvizheniya: uchebno-metodicheskiy kompleks. - Belgorod: BGTU im. V. G. Shukhova, 2009. - 302 s.
7. Kambur A., Kushchenko L., Novikov I. Improving traffic management through the use of intelligent transport systems // Information Technologies and Management of Transport Systems: The VII International Scientific and Practical Conference (ITMTS 2021), MATEC Web Conf. - Vol. 341. - 2021.
8. Zyryanov V.V., Kocherga V.G., Pozdnyakov M.N. Sovremennye podkhody k razrabotke kompleksnykh skhem organizatsii dorozhnogo dvizheniya // Transport Rossiyskoy Federatsii. - SPb. - №1. - 2011. - S. 28-33.
9. Novikov I.A., Kushchenko L.E., Novopisnyy E.A., Kambur A.S. Ispol'zovanie intellektual'nykh transportnykh sistem dlya povysheniya kachestva organizatsii dorozhnogo dvizheniya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2022. - №3-4(78). - S. 42-49.
10. Novikov A.N., Kushchenko L.E., Novopisnyy E.A., Kambur A.S. Statisticheskiy analiz veroyatnosti vozniknoveniya dorozhno-transportnykh proissheshtviy na osnove dannykh intellektual'nykh transportnykh sistem Belgorodskoy aglomeratsii // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. - 2022. - №5(94). - S. 116-122.
11. Zhankaziev S.V. Intellektual'nye transportnye sistemy: Uchebnoe posobie. - M.: MADI, 2016. - 14 s.
12. Zhankaziev S.V. Imitatsionnoe modelirovanie v ob"ektakh ITS: Uchebnoe posobie. - M.: MADI, 2016. - 40 s.
13. Kushchenko L.E., Bobeshko A.S., Kushchenko S.V., Novikov I.A. Kompleksnaya otsenka i analiz pokazateley dorozhno-transportnykh proissheshtviy na primere regionov Chernozem'ya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2018. - №4(63). - S. 62-68.
14. Daniel T., Lepers B. Automatic incident detection: a key tool for intelligent traffic management // Traffic technology international: Annual Review. - 1996. - P. 158-162.
15. Driver vigilance devices: systems review. - London, Railway Safety, 2002. - 105 s.
16. Campbell B.J., Levine D. Accident proneness and driver license programs // First International Conference on Driver Behavior, Zurich, Switzerland. - 1973. - P. 1-12.
17. Kulmala R., Noukka M. Raiting the objectives. Finland's ITS strategy to 2010 // Traffic technology international. - 1998. - P. 62-66.
18. Nuttal I. Hunting out the budgets. An informal look at who's spending what ITS // Traffic technology international. - 1998. - R. 21-22.
19. Nuttal I. Will the tigers roar? ITS market potential in ASEAN region // Traffic Technology International. - 1998. - R. 60-64.
20. Kushchenko L., Kushchenko S., Novikov A., Kambur A. The use of information technology «Auto – Intellect» to improve the quality of traffic management // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2021.

Kushchenko Liliya Evgen'evna

Belgorod State Technological University
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46
Candidate of technical sciences
E-mail: lily-041288@mail.ru

Kushchenko Sergey Viktorovich

Belgorod State Technological University
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46
Candidate of technical sciences
E-mail: serega_ku@mail.ru

Kambur Alina Sergeevna

Belgorod State Technological University
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova street, 46
Assistant
E-mail: bobeshko.alina@mail.ru

Ulinets Iosif Alekseevich

Belgorod State National Research University
Address: 308015, Russia, Belgorod, Pobedy str., 85
Master's student
E-mail: ulinets.iosif@yandex.ru

Научная статья

УДК 656.025.2

doi:10.33979/2073-7432-2023-4-1(83)-107-114

М.В. КУЛЕВ, И.В. КОЛПАКОВ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ГОРОДА ОРЛА ЗА СЧЕТ РАЗРАБОТКИ НОВОГО МАРШРУТА ДВИЖЕНИЯ ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

Аннотация. В работе рассматриваются вопросы совершенствования транспортного обслуживания населения города Орла. Для достижения поставленной цели предлагается разработать и внедрить новый маршрут движения пассажирского транспорта. Практическая реализация предложенных мероприятий выполнена на примере маршрута «Переулок Южный – Новая Ботаника». Исходные данные для разработки маршрута получены с помощью обследования пассажиропотоков.

Ключевые слова: пассажирский транспорт, пассажиропоток, маршрут

Введение

Административным центром Орловской области является город Орел, расположенный в Центральном федеральном округе. По состоянию на 2023 год численность населения в регионе составляет 297633 чел. Площадь областной столицы приблизительно равна 128 км² и состоит из 4-х районов. Город имеет продолговатую форму и расположен вдоль русла реки Ока (рис. 1).



Рисунок 1 – Карта города Орла

В 2023 г. общая численность автотранспортных средств в городе составляет 102226 ед. (рис. 2). Уровень автомобилизации населения в Орле равен 270 легковых автомобилей на 1000 жителей региона [1, 2].

Городской пассажирский транспорт города Орла представлен подвижным составом муниципального унитарного предприятия «Трамвайно-троллейбусное предприятие» (МУП ТТП), а также автобусами частных перевозчиков (рис. 3-4) [1, 2].

МУТ «ТТП» обслуживает 11 автобусных, 3 трамвайных (протяженность 30 км) и 5 троллейбусных маршрута (протяженность 98 км). Трамвайный парк предприятия насчитывает 84 ед. подвижного состава, троллейбусный – 57 ед. Парк автобусов представлен 6 моделями: ЛиАЗ-5292.20, ЛиАЗ-5292.21, ЛиАЗ-5292.22, ПАЗ-320435-04 «Vector Next» (NS), ПАЗ-32053, ПАЗ-32054. Суммарное количество автобусов – 78 единиц [1, 2].

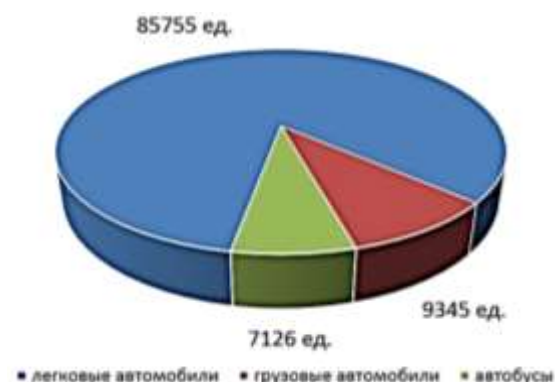


Рисунок 2 – Структура парка транспортных средств г. Орла

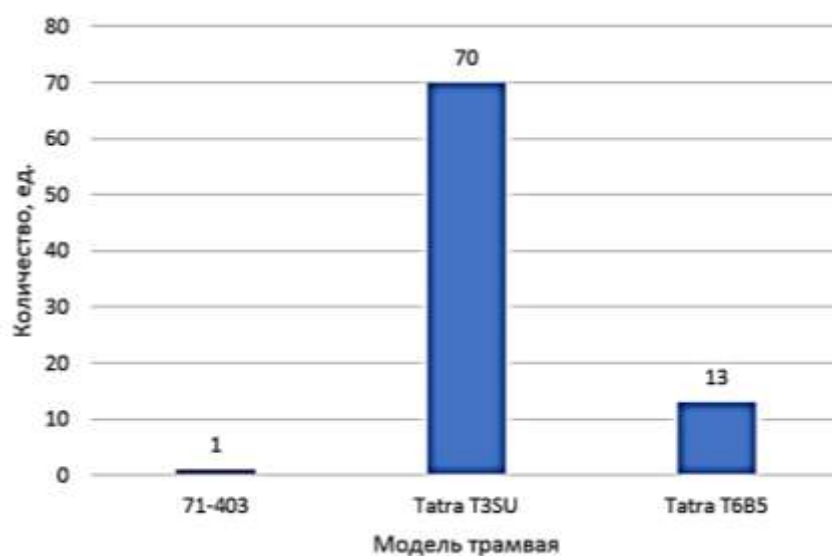


Рисунок 3 – Парк трамваев МУП «ТТП»

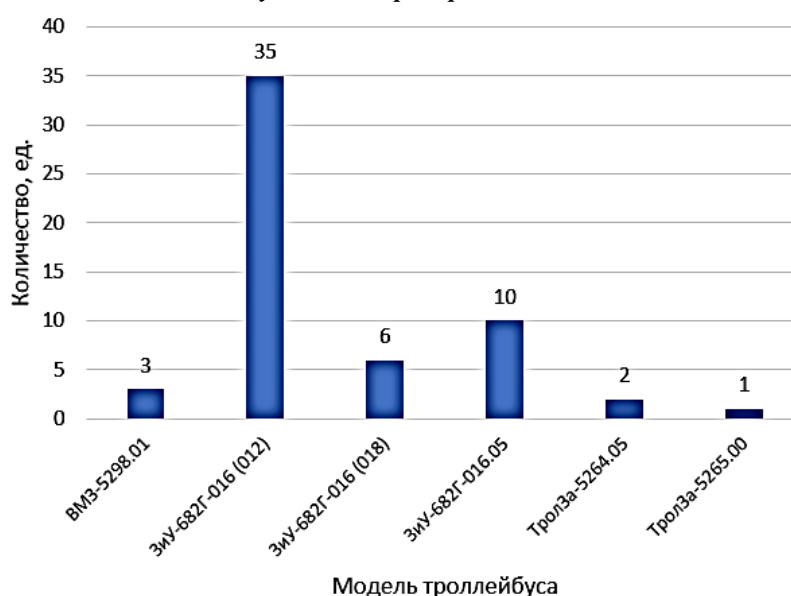


Рисунок 4 – Парк троллейбусов МУП «ТТП»

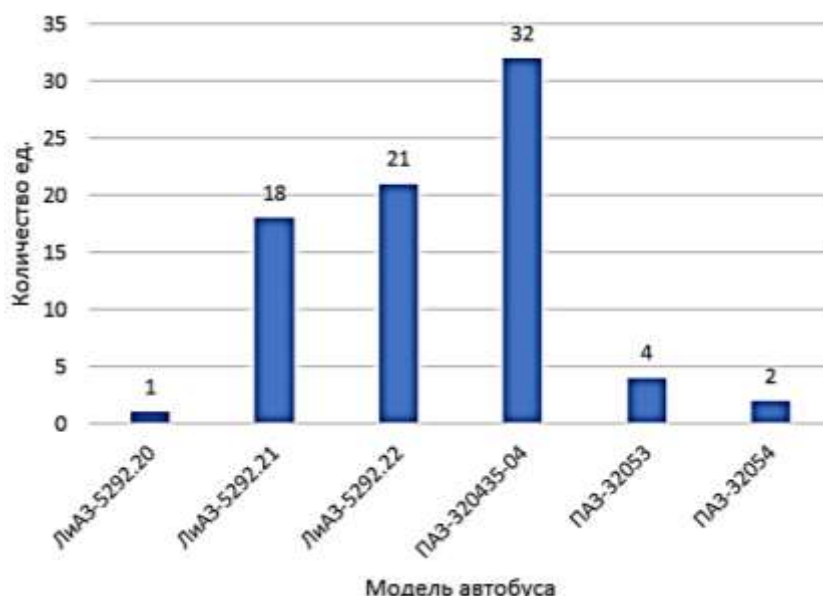


Рисунок 5 – Парк автобусов МУП «ТПП»

Частные перевозчики представлены 14-тью индивидуальными предпринимателями. Ими обслуживается 25 маршрутов, суммарное количество транспортных средств насчитывает 250 единиц [1, 2].

Доля автобусов частных перевозчиков составляет 53 % от всего парка транспортных средств, осуществляющих городские пассажирские перевозки. Если рассматривать только автобусные перевозки, то парк транспортных средств частных перевозчиков в 5 раз больше числа автобусов МУП ТПП (рис. 6).

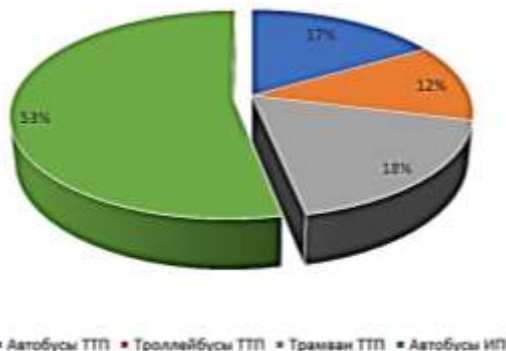


Рисунок 6 – Структура подвижного состава, осуществляющего пассажирские перевозки

Автобусный парк региона обеспечивает основной объем пассажирских перевозок. Маршрутная транспортная сеть в г. Орле является несбалансированной – в некоторых районах города существует избыток маршрутных транспортных средств, в некоторых – их дефицит. Это вызывает недовольство у основных потребителей услуг маршрутных перевозок – населения г. Орла. Учитывая все вышесказанное можно сделать вывод, что совершенствование транспортного обслуживания населения микрорайона «Выгонка» за счет разработки новых маршрутов является актуальным [12, 16].

Материал и методы

В таблице на листе 1 приведен перечень остановочных пунктов маршрута «Переулок Южный – Новая Ботаника».

Суточную суммарную интенсивность пассажиропотока примем равной 740 пасс./сут. (по данным за 11.04.2023).

Произведем расчет средней дальности поездки одного пассажира [8, 9, 17, 18]:

$$l_{cp} = \frac{L_m}{\eta_{cm}}, \text{ км}, \quad (1)$$

где η_{cm} – коэффициент сменяемости $\eta_{cm} = 4$.

$$l_{cp} = \frac{12,1}{4,0} = 3,025 \text{ км}.$$

Определим время движения на маршруте, время простоя на промежуточных и конечных остановочных пунктах и время оборота [19, 20].

Общее время движения по маршруту [8, 9]:

$$t_{\text{дв}} = \sum t_{\text{дв}i}, \text{ с}, \quad (2)$$

где $t_{\text{дв}i}$ – время движения по участкам прямого и обратного направления, с.

$$t_{\text{дв}} = 80 + 90 + 70 + 75 + 120 + 80 + 70 + 75 + 120 + 300 + 66 + 75 + 70 + 120 + 180 + 190 + \\ + 75 + 80 + 110 = 1781 \text{ с} = 29,7 \text{ мин} = 0,49 \text{ ч}.$$

Таблица 1 - Перечень остановочных пунктов маршрута «Переулок Южный – Новая Ботаника»

В прямом направлении		Наименование остановочных пунктов	В обратном направлении	
Расстояния между остановочными пунктами, км	Расстояния от начального пункта, км		Расстояния между остановочными пунктами, км	Расстояния от начального пункта, км
		Пер. Южный	0,3	11,7
0,6	0,6	Мебельная фабрика	-	-
0,7	1,3	УНПК	-	-
0,4	1,7	Школа №30	-	-
0,5	2,2	Электровозная	-	-
-	-	Ремонтный пер.	0,4	11,4
-	-	Локомотивное депо	0,6	11,0
-	-	ул. Паровозная	0,6	10,4
0,9	3,1	Гипсовый комбинат	0,9	9,8
0,6	3,7	з-д Текмаш	0,6	8,9
0,4	4,1	Экран	0,4	8,3
0,5	4,6	з-д Медведева	0,5	7,9
-	-	к-р Родина	0,4	7,4
0,9	5,5	Пер. Новосильский	2,0	7,0
2,0	7,5	ул. Черкасская	0,3	5,0
0,3	7,8	м-н Апельсин	0,5	4,7
0,5	8,3	ул. Песковская	0,4	4,2
0,4	8,7	ул. Городская	0,9	3,8
0,9	9,6	Лесоторговая	2,9	2,9
1,2	10,8	пер. Пищевой	-	-
1,3	12,1	Новая Ботаника		

Суммарное время простоя на всех остановочных пунктах [8, 9]:

$$\sum t_{\text{он}} = t_{\text{он}} \cdot N_{\text{ост}}, \text{ с}, \quad (3)$$

где $t_{\text{он}}$ – время, затрачиваемое на промежуточных остановочных пунктах;

$N_{\text{ост}}$ – количество остановочных пунктов; $N_{\text{ост}} = 20$.

$$\sum t_{\text{он}} = 30 \cdot 20 = 600 \text{ с} = 10 \text{ мин}.$$

Суммарное время на конечных остановочных пунктах [8, 9]:

$$\sum t_{\text{ко}} = 0,1 \cdot t_{\text{дв}}, \text{ с}. \quad (4)$$

Принимаем его равным 4 минутам, необходимым для осмотра салона и проверки технического состояния микроавтобуса.

Время оборота на маршруте [8, 9]:

$$t_{\text{об}} = t_{\text{дв}} + \sum t_{\text{он}} + \sum t_{\text{ко}}, \text{ с}. \quad (5)$$

$$t_{\text{об}} = 29,7 + 10 + 8 = 47,7 \text{ мин} = 0,8 \text{ ч}.$$

Определение скоростей движений на маршруте [8, 9]:

$$V_m = \frac{L_m}{t_{\text{дв}}}, \text{ км/ч}, \quad (6)$$

$$V_m = \frac{12,1}{0,49} = 24,7 \text{ км/ч.}$$

Скорость сообщения [8, 9]:

$$V_c = \frac{L_m}{t_{об} + \sum t_{он}}, \text{ км/ч,} \quad (7)$$

$$V_c = \frac{12,1}{0,49 + 0,17} = 19 \text{ км/ч.}$$

Эксплуатационная скорость [8, 9]:

$$V_o = \frac{L_m}{t_{об} + \sum t_{он} + \sum t_{ко}}, \text{ км/ч,} \quad (8)$$

$$V_o = \frac{12,1}{0,73} = 16,2 \text{ км/ч.}$$

Необходимое количество автобусов на маршруте [8, 9]:

$$A_{mi} = \frac{t_{об} \cdot Q_{pi}}{q_n}, \text{ ед.,} \quad (9)$$

где A_{mi} – потребное количество автобусов на маршруте, ед.;

$t_{об}$ – время оборота, ч;

Q_{pi} – пассажиропоток по часам суток, чел.;

q_n – номинальная вместимость автобуса, пасс.

На разрабатываемом маршруте целесообразно применять автобусы малой вместительности [7, 10-13].

Результаты и обсуждение

Схема движения маршрутных транспортных средств в направлении «Переулок Южный – Новая Ботаника» представлена на рисунке 7.

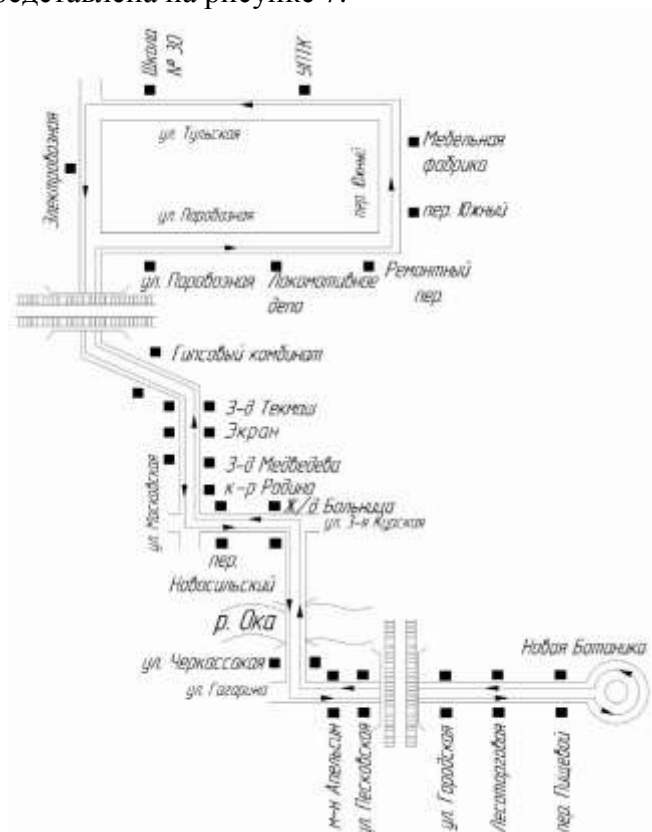


Рисунок 7 - Схема маршрута «Переулок Южный – Новая Ботаника»

Результаты расчетов представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Необходимое количество и интервал движения автобусов по часам суток

Часы суток	Пассажиропоток, пасс./час	Необходимое /принятое количество автобусов, ед.
1	2	3
6-7	2	0,056129 / 1
7-8	6	0,168387 / 1
8-9	46	1,290968 / 1
9-10	128	3,592258 / 3
10-11	32	0,898065 / 1
11-12	72	2,020645 / 2
12-13	58	1,627742 / 2
13-14	132	3,704516 / 4
14-15	66	1,852258 / 2
15-16	56	1,571613 / 2
16-17	88	2,469677 / 3
17-18	24	0,673548 / 1
18-19	6	0,168387 / 1
19-20	4	0,112258 / 1
20-21	18	0,505161 / 1
21-22	2	0,056129 / 1

Выводы

На основе анализа состояния системы городского пассажирского транспорта города Орла разработана схема маршрута «Переулок Южный – Новая Ботаника», которая позволит повысить качество транспортного обслуживания населения региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Св-во о государственной регистрации базы данных №2023620711 Российская Федерация. Исследование пассажиропотоков и пассажирообмена табличным методом на маршрутной сети городского пассажирского транспорта № 2023620381; заявл. 13.02.2023; опубл. 27.02.2023 / С.А. Родимцев, А.В. Кулев, М.В. Кулев [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева».
2. Св-во о государственной регистрации базы данных №2022621668 Российская Федерация. Исследование пассажиропотоков визуальным методом в г. Орле №2022621506; заявл. 24.06.2022; опубл. 08.07.2022 / А.Н. Новиков, А.В. Кулев, М.В. Кулев [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева».
3. Кулева Н.С., Кулев А.В., Кулев М.В., Ломакин Д.О. Разработка методики определения количества и класса транспортных средств на маршруте // Мир транспорта и технологических машин. – 2021. – №4(75). – С. 67-73. – DOI 10.33979/2073-7432-2021-75-4-67-73.
4. Kulev A.V., Kulev M.V., Kuleva N.S. Basic approaches to the choice of methods of passenger traffic flow analysis // IOP Conference Series: materials science and engineering. International conference on modern trends in manufacturing technologies and equipment. - 2020. - С. 033071.
5. Kulev M.B., Kulev A.V., Kuleva N.S. Efficiency assessment in transport service provision for the population of Orel city // IOP Conference series: materials science and engineering. International conference on modern trends in manufacturing technologies and equipment. - 2020. - 971. - С. 052090.
6. Кулева Н.С., Новиков А.Н., Кулев А.В., Кулев М.В. Повышение эффективности функционирования городского пассажирского транспорта / под общей редакцией А.Н. Новикова // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы 2-ой Международной научно-практической конференции. - 2016. - С. 378-382.
7. Еремин С.В., Новиков А.Н., Фроленкова Л.Ю. и др. Совершенствование дорожного движения в городе Красноярске на основе интеллектуальных транспортных технологий // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – №1-1(80). – С. 76-86. – DOI 10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-76-86.
8. Кравченко Е.А. Пассажирские перевозки: Учебное пособие. - М-во образования Рос. Федерации. Кубан. гос. технол. ун-т. – Краснодар: КубГТУ, 2003. – 105 с.

9. Основы организации дорожного движения: Учебное пособие / А.Н. Новиков, Л.Е. Кущенко, С.В. Кущенко, А.С. Камбур. – Белгород, Орел: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – 170 с.
10. Новиков А.Н., Еремин С.В., Шевцова А.Г. Пути повышения безопасности функционирования общественного транспорта в условиях перспективного развития города. – Белгород-Орел: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – 239 с.
11. Новиков А.Н., Шевцова А.Г. Безопасное и эффективное управление транспортными потоками в городской транспортной системе. – Москва: Академия, 2022. – 205 с.
12. Shevtsova A.G., Novikov A.N., Silyanov V.V. Method of Urban Traffic Management // Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Conference Proceedings. – Moscow. - 2021. – P. 9416113. – DOI 10.1109/IEEECONF51389.2021.9416113.
13. Novikov A., Shevtsova A., Burlutskaya A., Shekhovtsova S. Development of cycling infrastructure based on the example of urban agglomeration of Belgorod // Transport Problems. – 2021. – Vol. 16. - №3. – P. 213-222. – DOI 10.21307/TP-2021-054.
14. Бодров А.С., Ломакин Д.О., Кулев А.В., Кулева Н.С. Повышение эффективности эксплуатации автобусов при создании выделенных полос для городского пассажирского общественного транспорта / Под редакцией А.Н. Новикова // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы 4-ой Международной научно-практической конференции. – Орел: Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, 2019. – С. 281-289.
15. Кулев А.В., Внуков С.С. Характеристика маршрутной системы города Орел // Будущее науки-2019: сборник научных статей 7-й Международной молодежной научной конференции. – Т. 6. – Курск: Юго-Западный государственный университет. - 2019. – С. 64-67.
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. Пассажирские автомобильные перевозки: учебник для вузов / В.А. Гудков, Л.Б. Миротин, А.В. Вельможин, С.А. Ширяев; под ред. В.А. Гудкова. - М.: Горячая линия - Телеком, 2006. - 448 с.
18. ГОСТ Р 51004-96. Услуги транспортные. Пассажирские перевозки. Номенклатура показателей качества. - М.: Госстандарт, 1996.
19. Об утверждении методик расчета показателей федерального проекта «Модернизация пассажирского транспорта в городских агломерациях» национального проекта «Безопасные качественные дороги»: Распоряжение Министерства транспорта РФ от 22 июля 2021 г. № АК-150-р.
20. Белокуров В.П., Кораблев Р.А., Авдеев Г.А. и др. К вопросу оценки качества обслуживания пассажирских перевозок // Воронежский научно-технический Вестник. - 2019. - Т. 4. - №4(30). - С. 77-82.

Кулев Максим Владимирович

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

Колпаков Иван Владимирович

Орловский государственный университет
имени И.С. Тургенева
Адрес: 302026, Россия, г. Орел, ул. Московская, д. 77
Студент
E-mail: n0x1us666@yandex.ru

M.V. KULEV, I.V. KOLPAKOV

IMPROVEMENT OF TRANSPORT SERVICE FOR THE POPULATION OF THE CITY OF OREL THROUGH THE DEVELOPMENT OF A NEW ROUTE FOR PASSENGER TRANSPORT

Abstract. *The paper deals with the issues of improving transport services for the population of the city of Orel. To achieve this goal, it is proposed to develop and implement a new route for passenger transport. The practical implementation of the proposed activities was carried out on the example of the route «Yuzhny Lane - New Botany». The initial data for the development of the route was obtained using a survey of passenger flows.*

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

BIBLIOGRAPHY

1. Sv-vo o gosudarstvennoy registratsii bazy dannykh №2023620711 Rossiyskaya Federatsiya. Issledovanie passazhiropotokov i passazhiroobmena tablichnym metodom na marshrutnoy seti gorodskogo passazhirskogo transporta № 2023620381; zayavl. 13.02.2023; opubl. 27.02.2023 / S.A. Rodimtsev, A.V. Kulev,

M.V. Kulev [i dr.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева».

2. Sv-vo o gosudarstvennoy registratsii bazy dannykh №2022621668 Rossiyskaya Federatsiya. Issledovanie passazhiropotokov vizual'nym metodom v g. Orel №2022621506; zayavl. 24.06.2022; opubl. 08.07.2022 / A.N. Novikov, A.V. Kulev, M.V. Kulev [i dr.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева».

3. Kuleva N.S., Kulev A.V., Kulev M.V., Lomakin D.O. Razrabotka metodiki opredeleniya kolichestva i klassa transportnykh sredstv na marshrute // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2021. - №4(75). - S. 67-73. - DOI 10.33979/2073-7432-2021-75-4-67-73.

4. Kulev A.V., Kulev M.V., Kuleva N.S. Basic approaches to the choice of methods of passenger traffic flow analysis // IOP Conference Series: materials science and engineering. International conference on modern trends in manufacturing technologies and equipment. - 2020. - S. 033071.

5. Kulev M.V., Kulev A.V., Kuleva N.S. Efficiency assessment in transport service provision for the population of Orel city // IOP Conference series: materials science and engineering. International conference on modern trends in manufacturing technologies and equipment. - 2020. - 971. - S. 052090.

6. Kuleva N.S., Novikov A.N., Kulev A.V., Kulev M.V. Povyshenie effektivnosti funktsionirovaniya gorodskogo passazhirskogo transporta / pod obshchey redaktsiei A.N. Novikova // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: Materialy 2-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - 2016. - S. 378-382.

7. Eremin S.V., Novikov A.N., Frolenkova L.YU. i dr. Sovershenstvovanie dorozhnogo dvizheniya v gorode Krasnoyarske na osnove intellektual'nykh transportnykh tekhnologiy // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2023. - №1-1(80). - S. 76-86. - DOI 10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-76-86.

8. Kravchenko E.A. Passazhirskie perevozki: Uchebnoe posobie. - M-vo obrazovaniya Ros. Federatsii. Kuban. gos. tekhnol. un-t. - Krasnodar: KubGTU, 2003. - 105 s.

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

10. Novikov A.N., Eremin S.V., Shevtsova A.G. Puti povysheniya bezopasnosti funktsionirovaniya obshchestvennogo transporta v usloviyakh perspektivnogo razvitiya goroda. - Belgorod-Orel: Belgorodskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskii universitet im. V.G. Shukhova, 2023. - 239 s.

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

12. Shevtsova A.G., Novikov A.N., Silyanov V.V. Method of Urban Traffic Management // Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Conference Proceedings. - Moscow. - 2021. - P. 9416113. - DOI 10.1109/IEEECONF51389.2021.9416113.

13. Novikov A., Shevtsova A., Burlutskaya A., Shekhovtsova S. Development of cycling infrastructure based on the example of urban agglomeration of Belgorod // Transport Problems. - 2021. - Vol. 16. - №3. - P. 213-222. - DOI 10.21307/TP-2021-054.

14. Bodrov A.S., Lomakin D.O., Kulev A.V., Kuleva N.S. Povyshenie effektivnosti ekspluatatsii avtobusov pri sozdanii vydelennykh polos dlya gorodskogo passazhirskogo obshchestvennogo transporta / Pod redaktsiei A.N. Novikova // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: Materialy 4-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Orel: Orlovskiy gosudarstvennyy universitet imeni I.S. Turgeneva, 2019. - S. 281-289.

15. Kulev A.V., Vnukov S.S. Harakteristika marshrutnoy sistemy goroda Orel // Budushchee nauki-2019: sbornik nauchnykh statey 7-y Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii. - T. 6. - Kursk: YUgo-Zapadnyy gosudarstvennyy universitet. - 2019. - S. 64-67.

16. Kulev A.V., Minaeva E.M. Problemy povysheniya kachestva v sfere perevozok 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. Passazhirskie avtomobil'nye perevozki: uchebnik dlya vuzov / V.A. Gudkov, L.B. Mirotin, A.V. Vel'mozhin, S.A. Shiryayev; pod red. V.A. Gudkova. - M.: Goryachaya liniya - Telekom, 2006. - 448 s.

18. GOST R 51004-96. Uslugi transportnye. Passazhirskie perevozki. Nomenklatura pokazateley kachestva. - M.: Gosstandart, 1996.

19. Ob utverzhdenii metodik rascheta pokazateley federal'nogo proekta «Modernizatsiya passazhirskogo transporta v gorodskikh aglomeratsiyakh» natsional'nogo proekta «Bezopasnye kachestvennye dorogi»: Rasporyazhenie Ministerstva transporta RF ot 22 iyulya 2021 g. № AK-150-r.

20. Belokurov V.P., Korablev R.A., Avdeev G.A. i dr. K voprosu otsenki kachestva obsluzhivaniya passazhirskikh perevozok // Voronezhskiy nauchno-tekhnicheskii Vestnik. - 2019. - T. 4. - №4(30). - S. 77-82.

Kulev Maksim Vladimirovich

Orel State University

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

Candidate of technical sciences

E-mail: maxim.ka@mail.ru

Kolpakov Ivan Vladimirovich

Orel State University

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

Student

E-mail: n0x1us666@yandex.ru

Научная статья

УДК 62-51

doi:10.33979/2073-7432-2023-4-1(83)-115-120

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

КОНЦЕПЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ КАК ЭКОЛОГИЧНОГО ВИДА ТРАНСПОРТА

Аннотация. В работе рассматриваются этапы развития транспортной системы на примере города Белгород. Проведен анализ использования средств индивидуальной мобильности как экологичного вида транспорта в городской инфраструктуре. Использование подобных средств может быть более безопасным, удобным и экологичным, чем поездки на общественном транспорте или автомобиле. Однако за последние несколько лет тенденция увеличение на дорожном пространстве средств индивидуальной мобильности (СИМ) повышает количества дорожно-транспортных происшествий с участием данных средств, что естественно создаёт угрозу для жизни населения.

Ключевые слова: средства индивидуальной мобильности, безопасность дорожного движения, экологичность, инфраструктура, микромобильность

Введение

Транспортная система и её состояние играет важную роль в развитие любого города страны. Экономические аспекты городской инфраструктуры также связаны с транспортной составляющей населенного пункта. Современные города при построении планировочной инфраструктуры за основу берут транспортную систему, так как именно вокруг нее развиваются остальные, не мало важные элементы городской среды: объекты социального досуга, жилые комплексы, промышленные зоны.

На комфортность проживания населения оказывают непосредственное влияние системы общественного транспорта, транспортная связность городских микрорайонов и возможность мобильного передвижения в условиях города.

В Российской Федерации, начиная с 2018 года началось активное использование средств индивидуальной мобильности (СИМ). Наравне с европейскими странами, где активное применение новых средств передвижения началось гораздо раньше, появление новых участников дорожного движения внесло определенные проблемы, связанные в первую очередь с высокой аварийностью.

Материал и методы

Согласно статистике с каждым годом наблюдается увеличение количества автомобилей, мотоциклов, мопедов и других транспортных средств, данная закономерность оказывает значительную нагрузку на транспортную инфраструктуру в целом, тем самым способствуя образованию дорожных заторов и аварийных ситуаций. Чтобы сократить потери времени, находясь в заторах на дороге, и в некоторой степени уменьшить количество ДТП, автолюбители начали осваивать новые средства передвижения, такие как сегвеи, моноколеса, гироскутеры и электросамокаты – так называемые средства индивидуальной мобильности.

За прошедшие двадцать лет численность населения крупных городов Белгородской области можно назвать относительно стабильной. Вместе с тем в среднем можно наблюдать увеличение показателей обеспеченности населения личным транспортном. Так, если в 2005 году на 1000 жителей области приходилось 163,3 личных автомобилей, то в 2020 году – уже 347,4 ед./тыс.чел.

С определенной долей вероятности можно сказать, что в крупных городах значения этого показателя еще больше, поскольку уровень жизни населения в них, как правило, выше, чем в малых городах или сельской местности. Безусловно, это влечет за собой увеличение нагрузки на транспортную систему городов, даже на фоне естественной и миграционной убыли населения.

Важная задача стоит перед органами местного самоуправления, так как развитие современной транспортной инфраструктуры города и создание комфорта для населения является важным аспектом сегодняшнего времени, поскольку в соответствии с 131-ФЗ «Об об-

щих принципах организации местного самоуправления в Федерации» [2] этот вопрос относится к вопросам местного значения.



Рисунок 1 – Динамика численности населения г. Белгород, тыс.чел.

Источник: Федеральная служба государственной статистики по Белгородской области

Без автомобильного транспорта не может существовать ни одно современное общество, так как транспортное средство является основным видом транспорта и частью быта. Улицы и автострады заполнили десятки миллионов личных автомобилей, из-за этого возникает большое количество заторов, неэффективно расходуется дорогостоящее горючее, воздух отравляется ядовитыми выхлопными газами. Вредные вещества при эксплуатации транспортных средств поступают в воздух с отработавшими газами, а так же с картерными газами. Выхлопные газы автомобилей попадают в нижние слои атмосферы, и влияют на дыхательные пути человека. Например, в городе около 500 тысяч автомобилей, каждая из которых использует 200 литров кислорода для сжигания 1 кг бензина. Это больше, чем количество кислорода, которое человек потребляет за день. В среднем автомобиль сжигает 1.5-2 тонны топлива и 20-30 тонн кислорода в год на расстояние 15 тысяч километров [3-5].



Рисунок 2 – Динамика выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта г. Белгород, тыс.т.

Источник: Федеральная служба государственной статистики по Белгородской области

Теория / Расчет

С 1 марта 2023 года в РФ вступили в силу новые поправки в Правила дорожного движения (ПДД), в которых СИМ приравнивают к транспортным средствам. К СИМ, как к транспортным средствам будут относиться следующих виды: электросамокаты, электроскейтборды, гироскутеры, сигвеи, моноколеса и другие аналогичные средства (ПДД РФ).

Микромобильность данных средств может помочь населению закрыть потребность во всех пассажирских поездках на расстояние 8 километров и более. В России электросамокатами пользуются всё больше людей. Довольно быстрый, экологичный и дешевый способ доехать до нужного адреса появился и в Белгороде с 2021 года. Парковки для электросамокатов в 2021 году находились лишь в самых оживленных местах города, таких как парк им. В.И. Ленина, парк Победы, Соборная площадь, около Технологического университета, на Народном бульваре около солнечных часов. Также в молодежном центре «Октябрь» в Центральном парке расположен городской прокат самокатов Samoprokat, с условием возврата СИМ в пункт начала движения. На рисунке 3 показаны места расположения станций СИМ в городе Белгороде в 2022 году.



Рисунок 3 - Карта города Белгорода с обозначениями мест расположения станций СИМ в 2022 году

На сегодняшний день количество специально оборудованных станций для парковки СИМ значительно увеличилось (рис. 4).



Рисунок 4 - Карта города Белгорода с обозначениями мест концентрации станций СИМ в 2023 году

Принцип аренды СИМ на всей территории России одинаковый, необходим лишь смартфон, доступ в интернет и документ удостоверяющий личность. Тарифы начинаются от 5 рублей за минуту проката самоката. Дополнительная плата взимается за разблокирование самоката, это 50 рублей. Сейчас для аренды существует несколько компаний. Но самыми крупными и распространенными являются Urent и E-motion используемые в большинстве городов [6-12].

Согласно оценкам, благодаря переходу на электросамокаты в общей сложности предотвращено 6220 метрических тонн выбросов углерода за последние два года.

Результаты и обсуждение

Маркетологи сервисов кикшеринга (аренда средств индивидуальной мобильности) пытаются донести до населения пользу данного вида транспорта, а именно экологичность,

безопасность с точки зрения социальной дистанции в эпоху пандемии, повышенная мобильность в условиях города. В крупных городах наблюдается увеличение спроса на электросамокаты, как на полноценный вид транспорта. Рост популярности средств индивидуальной мобильности связан с целым рядом факторов, в том числе с дешевизной, развитием дорожной инфраструктуры и экологичностью. Однако новое средство передвижения уже доказало свою опасность по отношению к дорожно-транспортным происшествиям с их участием. Так, согласно данным НИЦ БДД, в 2019 году было зарегистрировано 142 происшествия, а в 2022 году - 941 происшествие, что увеличивает данный показатель в 6,5 раз. Также следует отметить, что в данных ДТП получают ранения и погибают люди [13-16].

Электросамокаты стали причиной множества травм, а также брошенные на тротуарах СИМ образуют завалы мешают людям передвигаться, они попадают в реки и зачастую оказываются на свалках, не отработав и половины своего гарантийного срока.

Вредные выбросы в атмосферу образуются и при изготовлении электросамокатов: разработка алюминия и плавильное производство требуют больших затрат энергии и воды, серьезный вред планете наносит и производство литий-ионных аккумуляторов, так и при их транспортировке. Ежедневное обслуживание прокатных электросамокатов тоже добавляет серьезную долю CO₂ — отработавшие в течение дня разрядившиеся гаджеты необходимо вечером собрать и отвезти на подзарядку, и, как правило, этим занимаются крупногабаритные автомобили.

Большинство городских властей согласны с тем, что использование СИМ обогащает городскую мобильность и обладает потенциалом для изменения поведения и перехода к низкоуглеродной городской мобильности. Однако выбор подходящих инструментов для регулирования микромобильности зависит от четкого понимания ценности, которую приносят эти новые услуги мобильности.

Благодаря технологическому прогрессу отрасль добилась улучшений в плане конструкции оборудования, показателей выбросов в течение жизненного цикла и эксплуатационной устойчивости. По оценкам специалистов, средний срок службы новейшего скутера Voyager 4 составляет 60 месяцев. С января 2019 года углеродный след электронных скутеров сократился с момента их первоначального внедрения, о чем свидетельствуют отчеты производителя, показывающие сокращение выбросов CO₂ на 70 % на километр, т.е. до 35 г CO₂ на километр [17-20].

Вывод

Пользователи СИМ относятся к категории уязвимых участников дорожного движения, потому что попадание в аварию оборачивается для них гораздо более серьезными последствиями, чем для автомобилистов. Причины аварий бывают субъективными и объективными. Борьба с первыми целесообразнее всего путем повышения общего уровня культуры вождения и совершенствования правил дорожного движения. Для борьбы со вторыми необходимо применять специальные инженерные решения или использовать средства индивидуальной защиты.

Для улучшения экологической ситуации в городах за счет увеличения количества средств индивидуальной мобильности необходимо изменить технологию их производства: применять более экологичные материалы, а для доставки СИМ на точки парковки использовать не бензиновые автомобили, а электрокары. Также необходимо существенно увеличить срок службы данных устройств и снизить уровень вандализма, который в нашей стране, к сожалению, велик. Ведь если бы самокаты служили не пару месяцев, а два года, то и эффективность мероприятий по экологизации транспорта была бы значительно выше.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 70514-2022. Электрические средства индивидуальной мобильности. Технические требования и методы испытаний. – Москва: Стандартинформ, 2022. – 50 с.
2. Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации: Федеральный закон от 6 октября 2003 г. №131-ФЗ (ред. 14.07.2022).
3. Сильянов В.В., Домке Э.Р. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц: учебник для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Академия. – 2-е изд., стер., 2008. – 352 с.
4. Изменения в правила дорожного движения о средствах индивидуальной мобильности // Мир транспорта. - 2022. - Т. 20. - №5(102). - С. 84.

5. Жанказиев С.В., Пашкова А.А. Концепция разработки ПОДД для возможности допуска высокоавтоматизированных транспортных средств на дороги общего пользования // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2021. – С. 107-109.
6. Сычев Н.П., Жукова Н.А. К вопросу о правовом регулировании отношений, связанных с использованием электросамокатов // The Scientific Heritage. – 2021. – №68. – С. 57-59.
7. Ирошников Д.В. Правовые проблемы обеспечения безопасности личности на транспорте в условиях использования индивидуального электротранспорта // Правовое государство: теория и практики. – 2019. – №1/1. – С. 58-89.
8. Илькевич С.В. Источники формирования конкурентных преимуществ сервисов проката электро-самокатов // Стратегические решения и риск-менеджмент. – 2019. – №3. – С. 239-250.
9. Юнг А.А., Шевцова А.Г. Оценка аварийности средств индивидуальной мобильности в различных условиях движения // Современная наука. – 2021. – №2. – С. 31-36.
10. Исаев М.М., Наумов С.Б. Персональные электрические средства передвижения малой мощности: проблемы и перспективы определения порядка участия в городском движении // Современная наука. – 2020. – №2. – С. 23-25.
11. Zamytskiy A., Zhankaziev S., Dronseiko V., Shalagina E., Pletnev M. Determination of instant social risk for a moving vehicle // Systems of signals generating and processing in the field of on board communications. – 2022. – P. 1-6.
12. Zhankaziev S., Vorobyev A., Gavriluk M., Vorobyeva T., Morozov D. Creation of a certification system for ensuring the safety of information transfer between vehicles and intelligent road infrastructure in the Russian Federation // Systems of signals generating and processing in the field of on board communications, Conference Proceedings. – 2021. – P. 1-5.
13. Донченко В.В., Куправцев В.А. Анализ основных квалификационных систем средств индивидуальной мобильности // Вестник СибАДИ. – 2021. – №3. – Т. 18. – С. 252-263.
14. Крушель Е.Г. и др. Оценка пригодности модели перемещения пассажиров между остановками городского пассажирского общественного транспорта для выявления скрытых закономерностей поведения пассажиропотока [Электронный ресурс] / Инженерный вестник Дона. – №4. – 2021. – Режим доступа: 2021ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2021/6936.
15. Вразнова М.Н., Макаров А.И. Развитие рынка средств индивидуальной мобильности и его влияние на безопасность дорожного движения // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2023. – №3(37). – Статья 8.
16. Жанказиев С.В., Вразнова М.Н., Пашкова А.А. Концепция методики повышения безопасности дорожного движения за счет предоставления безопасного маршрута пользователям средств индивидуальной мобильности // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – №1-1(80). – С. 43-49.
17. Самарский И.Р., Смирнова Ж.В. Анализ рынка краткосрочной аренды средств индивидуальной мобильности в России // Вестник транспорта. – 2022. – №9. – С. 25-28.
18. Кошкин К.А. Оценка актуальности нового государственного стандарта электронных средств индивидуальной мобильности с точки зрения безопасности дорожного движения // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – №3-2(82). – С. 81-91.
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.
20. Новиков А.Н., Еремин С.В., Шевцова А.Г. Пути повышения безопасности функционирования общественного транспорта в условиях перспективного развития города: монография. – Белгород-Орел, 2023. – 239 с.

Шевцова Анастасия Геннадьевна

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

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

E-mail: anastasiya-shevcova@mail.ru

Васильева Виктория Владимировна

Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева

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

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

E-mail: vivaorel57@gmail.com

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

A.G. SHEVTSOVA, V.V. VASILEVA, A.A. JUNG

THE CONCEPT OF USING MEANS OF INDIVIDUAL MOBILITY AS AN ECO-FRIENDLY MODE OF TRANSPORT

***Abstract.** The paper considers the stages of development of the transport system on the example of the city of Belgorod. The analysis of the use of means of individual mobility as an eco-*

friendly mode of transport in urban infrastructure is carried out. The use of such means can be safer, more convenient and environmentally friendly than traveling by public transport or car. However, over the past few years, the trend of increasing individual mobility equipment (SIM) on the road space has increased the number of road accidents involving these vehicles, which naturally poses a threat to the lives of the population.

Keywords: means of individual mobility, road safety, environmental friendliness, infrastructure, micromobility

BIBLIOGRAPHY

1. GOST R 70514-2022. Elektricheskie sredstva individual'noy mobil'nosti. Tekhnicheskie trebovaniya i metody ispytaniy. - Moskva: Standartinform, 2022. - 50 s.
2. Ob obshchikh printsipakh organizatsii mestnogo samoupravleniya v Rossiyskoy Federatsii: Federal'nyy zakon ot 6 oktyabrya 2003 g. №131-FZ (red. 14.07.2022).
3. Sil'yanov V.V., Domke E.R. Transportno-ekspluatatsionnye kachestva avtomobil'nykh dorog i gorodskikh ulits: uchebnik dlya stud. vyssh. ucheb. zavedeniy. - M.: Akademiya. - 2-e izd., ster., 2008. - 352 s.
4. Izmeneniya v pravila dorozhnogo dvizheniya o sredstvakh individual'noy mobil'nosti // Mir transporta. - 2022. - T. 20. - №5(102). - S. 84.
5. Zhankaziev S.V., Pashkova A.A. Kontsepsiya razrabotki PODD dlya vozmozhnosti dopuska vysokoavtomatizirovannykh sredstv na dorogi obshchego pol'zovaniya // Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli. - 2021. - S. 107-109.
6. Sychev N.P., Zhukova N.A. K voprosu o pravovom regulirovanii otnosheniy, svyazannykh s ispol'zovaniem elektrosamokatov // The Scientific Heritage. - 2021. - №68. - S. 57-59.
7. Iroshnikov D.V. Pravovye problemy obespecheniya bezopasnosti lichnosti na transporte v usloviyakh ispol'zovaniya individual'nogo elektrotransporta // Pravovoe gosudarstvo: teoriya i praktiki. - 2019. - №1/1. - S. 58-89.
8. Il'kevich S.V. Istochniki formirovaniya konkurentnykh preimushchestv servisov prokata elektrosamokatov // Strategicheskie resheniya i risk-menedzhment. - 2019. - №3. - S. 239-250.
9. Yung A.A., Shevtsova A.G. Otsenka avariynosti sredstv individual'noy mobil'nosti v razlichnykh usloviyakh dvizheniya // Sovremennaya nauka. - 2021. - №2. - S. 31-36.
10. Isaev M.M., Naumov S.B. Personal'nye elektricheskie sredstva peredvizheniya maloy moshchnosti: problemy i perspektivy opredeleniya poryadka uchastiya v gorodskom dvizhenii // Sovremennaya nauka. - 2020. - №2. - S. 23-25.
11. Zamytskiy A., Zhankaziev S., Dronseiko V., Shalagina E., Pletnev M. Determination of instant social risk for a moving vehicle // Systems of signals generating and processing in the field of on board communications. - 2022. - P. 1-6.
12. Zhankaziev S., Vorobyev A., Gavriluk M., Vorobyeva T., Morozov D. Creation of a certification system for ensuring the safety of information transfer between vehicles and intelligent road infrastructure in the Russian Federation // Systems of signals generating and processing in the field of on board communications, Conference Proceedings. - 2021. - R. 1-5.
13. Donchenko V.V., Kupravtsev V.A. Analiz osnovnykh kvalifikatsionnykh sistem sredstv individual'noy mobil'nosti // Vestnik SibADI. - 2021. - №3. - T. 18. - S. 252-263.
14. Krushel' E.G. i dr. Otsenka prigodnosti modeli peremeshcheniya passazhirov mezhdu ostanovkami gorodskogo passazhirskogo obshchestvennogo transporta dlya vyavleniya skrytykh zakonomernostey povedeniya passazhiropotoka [Elektronnyy resurs] / Inzhenernyy vestnik Dona. - №4. - 2021. - Rezhim dostupa: 2021ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2021/6936.
15. Vrazhnova M.N., Makarov A.I. Razvitie rynka sredstv individual'noy mobil'nosti i ego vliyanie na bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya // Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura. - 2023. - №3(37). - Stat'ya 8.
16. Zhankaziev S.V., Vrazhnova M.N., Pashkova A.A. Kontsepsiya metodiki povysheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya za schet predostavleniya bezopasnogo marshruta pol'zovatelyam sredstv individual'noy mobil'nosti // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2023. - №1-1(80). - S. 43-49.
17. Samarskiy I.R., Smirnova Zh.V. Analiz rynka kratkosrochnoy arendy sredstv individual'noy mobil'nosti v Rossii // Vestnik transporta. - 2022. - №9. - S. 25-28.
18. Koshkin K.A. Otsenka aktual'nosti novogo gosudarstvennogo standarta elektronnykh sredstv individual'noy mobil'nosti s tochki zreniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2023. - №3-2(82). - S. 81-91.
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.
20. Novikov A.N., Eremin S.V., Shevtsova A.G. Puti povysheniya bezopasnosti funktsionirovaniya obshchestvennogo transporta v usloviyakh perspektivnogo razvitiya goroda: monografiya. - Belgorod-Orel, 2023. - 239 s.

Shevtsova Anastasia Gennadiyevna

Belgorod State Technological University
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46
Doctor of technical sciences
E-mail: anastasiya-shevcova@mail.ru

Jung Anastasia Alekseevna

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

Vasileva Victoria Vladimirovna

Oryol State University
Address: 302030, Russia, Orel, Moskovskaya str., 77
Candidate of technical sciences
E-mail: vivaorel57@gmail.com

Научная статья

УДК 378.147

doi:10.33979/2073-7432-2023-4-1(83)-121-127

Е.Н. ГРЯДУНОВА, М.А. ЯКУНИНА, А.Д. СЕРЕБРЕННИКОВ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ УНИВЕРСИТЕТА

Аннотация. В статье проведен анализ цифровых образовательных ресурсов университета на базе ОГУ им. И.С. Тургенева. Исследована наполняемость учебными дисциплинами цифровой платформы Moodle. Выполнена оценка востребованности и удовлетворенности студентами цифрового образовательного пространства, предоставляемого ВУЗом.

Ключевые слова: цифровая образовательная среда, студенты, онлайн-курсы, цифровой контент, учебные дисциплины

Введение

В настоящее время ОГУ им. Тургенева представляет собой образовательный кластер, в который входят одиннадцать институтов, факультет среднего профессионального образования, гимназия, центр непрерывного профессионального образования и повышения квалификации. Все элементы связаны между собой общей информационно-образовательной структурой, которая требует анализа и оценки ее эффективности. Современные студенты считают, что практически любую учебную информацию они могут почерпнуть из интернета, поэтому интерес к аудиторному прочтению лекционного материала у них отсутствует. Эффективной реальностью становится тот факт, что только 50-80 % студентов, присутствующих на занятиях записывают лекции в тетрадь. В следствии этого, при подготовке к экзаменам у многих обучающихся возникают проблемы с поиском учебного материала, который не всегда методически грамотно и научно обосновано изложен в Интернет-ресурсе. Часто, буквенное обозначение физических величин в различных методических материалах не согласуются друг с другом и это приводит к неправильной трактовки физического явления. Изучение общетехнических и технических дисциплин по случайным источникам дезориентирует студента в данной учебной дисциплине и понижает его успеваемость. Что в конечном счете влияет на общий процент академической успеваемости в ВУЗе. Поэтому, совершенствование информационной среды ВУЗа и активное внедрение ее в учебный процесс является необходимостью. Эмпирическое исследование отношения обучающихся к элементам цифровой образовательной среды (ЦОС) и востребованности цифрового контента в высшей школе приобретает особую *актуальность*. Вопросами проверки эффективности использования цифровой образовательной среды вуза посвящены ряд работ [1-3], в которых критерием эффективности является академическая успеваемость. Однако, удовлетворенность от онлайн-обучения и удобство работы с цифровым контентом мало изучены. *Цель исследования* определить степень востребованности обучающимися цифровой образовательной среды, удовлетворенность предоставленной ВУЗом цифровой образовательной информации. Внимания в цифровой обучающей среде обусловлено необходимостью развития у молодого поколения ответственности и самостоятельности в процессе обучения. *Впервые* эмпирически подтверждено востребованность цифровых образовательных ресурсов студентами ВУЗа. Для создания опросника использовались *диагностические инструменты*, ранее разработанные для оценки традиционной среды обучения [4-8] и адаптированные к цифровой образовательной среде. В качестве опросной *методики* применено групповое сплошное очное анонимное анкетирование. С помощью шкалы Лайкерта произведена оценка отношения студентов к цифровой образовательной среде ВУЗа.

Материал и методы

Качество и комфортность образовательной среды ВУЗа определяет не только академическую успеваемость студента, но психологическую удовлетворенность от процесса обучения [9, 10]. Таким образом, способствует формированию положительного или отрицательного отношения к выбранной инженерной профессии. В настоящее время идет уточнение определений понятийного аппарата цифровой образовательной среды, которая представляет часть мирового информационного пространства [11, 12]. Одним из обязательных элементов ЦОС являются цифровые образовательные ресурсы: участники образовательного процесса должны иметь доступ к знаниям через образовательные цифровые платформы. В ОГУ имени И.С. Тургенева имеются две цифровые платформы: «Системой дистанционного обучения (ИБЗО)» и система электронной поддержки учебных курсов Moodle [13, 14]. На рисунке 1 представлена структурная схема электронной информационно-образовательной среды ОГУ им. И.С. Тургенева.

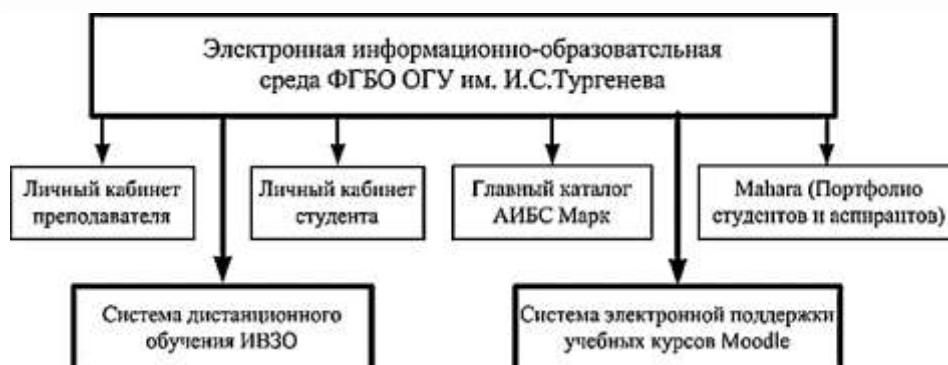


Рисунок 1 - Структура электронной информационно-образовательной среды ОГУ им. И.С. Тургенева

Теория / Расчет

Личный кабинет студента представляет собой раздел официального сайта ВУЗа и является не только информационно-методическим порталом, но связью между студентом, преподавателями и администрацией учебного заведения. В личном кабинете студент узнает расписание текущих занятий, может посмотреть рабочие программы преподаваемых ему дисциплин, учебные планы. Кроме этого, через личный кабинет можно получить задание на расчетно-графическую и курсовую работу и сдать ее в любое удобное время. В личном кабинете студента ОГУ им. Тургенева предусмотрена возможность загрузки учебно-методического материала непосредственно в расписание занятий. То есть, конкретно к каждой лекции или практическому занятию преподаватель может выложить планируемую учебную информацию, а также ссылки на Интернет-ресурсы. Таким образом, студенту предоставляется учебный материал, отобранный и проверенный преподавателем, ведущим данную учебную дисциплину. Страница содержит ссылки на библиотечные ресурсы, которые содержат учебно-методические пособия ведущих преподавателей университета. Программа АИБС Марк обеспечивает быстрый поиск необходимой литературы по ключевым тематическим словам. Личный кабинет студента информационно связан с личным кабинетом преподавателя, который ведет учет посещения аудиторных занятий и выставляет результаты текущего контроля по своей учебной дисциплине. Таким образом, цифровая образовательная среда посредством активных информационных связей между студентом и преподавателем расширяет педагогические возможности для успешного освоения учебной дисциплины. Даже при ограниченной возможности посещения ВУЗа студентом процесс обучения остается плановым, непрерывным и полноценным.

Система дистанционного обучения Moodle содержит более четырехсот учебных курсов. Анализ системы дистанционного обучения Moodle показал, что наиболее заполнен блок, относящийся к учебным дисциплинам управление и право (около 40 % от всех учебных курсов). Вторым по количеству онлайн-курсов является блок общеобразовательных дисциплин,

он содержит учебную информацию по русскому и иностранному языку, истории, литературе, физике, культурологии, математике, физике, общей химии и охране труда. Данный блок дисциплин преподается студентам первого курса. Поэтому, к качеству цифрового контента необходимо особое внимание, так как оно определяет вхождение обучающегося в цифровое образовательное пространство ВУЗа. Педагогика и психология представлены сорока четырьмя онлайн-курсами. Менее всего учебного материала по информатике и программированию. Качественного учебного контента по данным дисциплинам в достаточном количестве можно найти в Интернет-ресурсе, поэтому авторские курсы по данным учебным предметам представлены только в 24 позициях. Общетеchnические и специальные технические дисциплины мы объединили в один блок, который содержит восемнадцать дисциплин, в том числе «Инженерную графику». Эту дисциплину изучают все студенты, обучающиеся на технических специальностях университета. Однако, необходимо отметить, что в данном блоке отсутствуют такие классические дисциплины как, механика, сопротивление материалов, детали машин. К прочим специальным предметам, мы отнесли такие курсы как, «Концепция развития туризма», «Технология макаронных изделий» и т.п. Анализ цифрового контента системы дистанционного обучения Moodle по блокам учебным дисциплинам, представлен в таблице 1.

Таблица 1 - Анализ цифрового контента системы дистанционного обучения Moodle

Блок	Блок дисциплин	Количество онлайн-курсов	Процент от общего количества
1	Управление и экономика	162	40,5 %
2	Общеобразовательный	61	15,25 %
3	Педагогика и психология	44	11,0 %
4	Медицина	31	7,75 %
5	Информатика и программирование	24	6,0 %
6	Технические дисциплины	18	4,5 %
7	Специальные дисциплины	60	15,0 %

Востребованность данных курсов в период пандемии была высокая. Сегодня, требуется оценка качества имеющего цифрового контента, пересмотр педагогических технологий и мотивационных факторов, влияющих на использование онлайн-курсов [15, 16].

Для оценки различных параметров образовательной среды созданы ряд методик:

- 1) методика Dundee Ready Education Environment Measure (DREEM) представляет собой инструмент, разработанный специально для оценки образовательной среды студентов-медиков [17];
- 2) методика (ULEQ) предназначена для оценки психосоциальной среды университетов;
- 3) методика Learn, оценивает степень мотивации студентов к обучению [18, 19];
- 4) методика (CUCET) для оценки образовательной среды колледжей и университетов;
- 5) шкала оценки поддержки социальных, эмоциональных и поведенческих потребностей обучающихся (URP-NEEDS) [20, 21].

На основе данных методик был составлена анкета, представлена в таблице 2. В анкетировании участвовали студенты первого курса Политехнического института имени Н.Н. Поликарпова в количестве 36 человек. При изучении дисциплины инженерная графика студентам политехнического института вся выдаваемая на аудиторных занятиях учебная информация дублировалась цифровой, которая выкладывалась через личный кабинет студента в расписание и личным сообщением. Кроме того, студенты были записаны на онлайн-курс в системе дистанционного обучения Moodle. В данной системе имеется весь курс лекции, задания на практику и самостоятельную работу, кроме того, методические рекомендации по выполнению каждой заданной работы. Данная система позволяет пройти компьютерное тестирование на теоретическое знание дисциплины в любое удобное для обучающегося время. Посмотреть ошибки, сделанные при прохождении тестирования, и повторить попытку. Все респонденты успешно сдали зачет и экзамен по инженерной графике.

По окончании изучения курса инженерная графика студенты анонимно заполняли анкету «Мнения студентов о цифровой образовательной среде ВУЗа». Обучающимся было

предложено ранжировать описанные в анкете высказывания по степени их согласия с высказыванием: 1 - не согласен; 2 - скорее не согласен; 3 - затрудняюсь ответить (как согласен, так и не согласен) 4 - скорее согласен 5 - согласен полностью. Окончательный вариант методики включил 15 пунктов. Первые семь пунктов отражают степень востребованности цифровой образовательной среды, последующие 9 пунктов - степень удовлетворенности от использование цифровой среды, предоставленной ВУЗом.

Таблица 2 - Анкета «Мнения студентов о цифровой образовательной среде ВУЗа»

№	Высказывание
1	Мне необходим личный кабинет на сайте университета
2	Мне нужны видео лекции
3	Мне нужны электронные варианты заданий к практическим занятиям и РГР
4	Мне нужны способы общения с преподавателем через интернет
5	Надо, чтобы и на аудиторных занятиях был показ видео-материалов (слайдов с рисунками, чертежами и т.д.)
6	Надо проходить компьютерное тестирование, чтобы хорошо освоить учебный предмет.
7	Я хочу изучать другие дисциплины в системе Moodle.
8	Я постоянно пользуюсь личным кабинетом для связи с преподавателем
9	Мне легче пройти тестирование на компьютере, чем в письменном виде на бумаге
10	Мне удобно сдавать расчетно-графические работы через Личный кабинет (ЛК)
11	Удобно готовиться к занятиям с помощью электронного курса
12	Удобно, когда весь учебный материал постепенно выкладывается преподавателем в ЛК
13	В электронном курсе по инженерной графике достаточно материала для обучения и сдачи экзамена.
14	Дополнительная учеба в системе электронных курсов помогло мне освоить дисциплину инженерная графика.
15	Все преподаватели предоставляют учебный материал в цифровой форме
16	Все преподаватели отвечают на вопросы студентов в личном кабинете в течении суток.

Результаты и обсуждение

Обработка результатов анкетирования показала, что студенты воспринимают цифровые технологии в обучении как естественный элемент образования (рис. 2).



Рисунок 2 - Визуализация результата тестирования

И полностью согласны с первыми семью высказываниями, характеризующими востребованность цифровых образовательных ресурсов. Баллы полученные за степень согласия с предложенными высказываниями складывались по первым семи пунктам анкеты.

Степень удовлетворения от цифровой образовательной среды ВУЗа не имеет такой четкой границы в положительную сторону и чуть сдвинута в сторону «затрудняюсь ответить» и «скорее не согласен». Следует отметить, что процент несогласия относится к последним пунктам анкеты - 15, 16. Таким образом, негативный эффект к цифровым ресурсам вносят преподаватели, не обеспечивающие студентам быструю обратную связь через личный кабинет и не предоставляющие учебный материал в электронном виде. Опрос проводился со

студентами первого курса, которые только осваивают образовательную среду ВУЗа. Поэтому необходима активная помощь преподавателя в освоении и применении цифровых образовательных ресурсов, предоставляемых ВУЗом. Кроме того, работа в системе дистанционного обучения Moodle требует от обучающего самостоятельности и ответственности. Занятия по инженерной графике в течении двух семестров проходили в классическом аудиторном формате. Возможно, некоторыми студентами цифровой формат обучения воспринимался, как дополнительная нагрузка, в которой они не видели необходимости.

Выводы

Анализ цифровой образовательной среды ОГУ имени И.С. Тургенева показал ее эффективное функционирование: она обеспечивает информационную связь между обучающимися, преподавателями и администрацией. Все участники образовательного процесса имеют доступ к учебной информации посредством двух цифровых платформ. Таким образом, информационные потребности учащегося удовлетворены с помощью эффективной цифровой образовательной среды. Опрос обучающихся 1-ого курса Политехнического института им. Поликарпова показал, что информационные образовательные технологии востребованы – студенты постоянно пользуются личным кабинетом и с желанием обучаются на онлайн-курсах в системе Moodle. Они приветствуют цифровой формат результатов учебной деятельности, таких как компьютерная сдача тестов и контрольных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добудько Т.В., Горбатов С.В., Добудько А.В., Пугач О.И. Методика оценки электронной информационно-образовательной среды педагогического вуза // Самарский научный вестник. – 2018. – № 3(24). – С. 311-316.
2. Зайчикова Н.А. Разработка методики измерения по шкале успеваемость-мотивация результатов работы с тестовыми системами в цифровой образовательной среде // Современные проблемы науки и образования. – 2018. – № 4. – DOI:10.17513/spno.27902.
3. Кутепова Л.И., Попкова А.А., Жидков А.А., Гордеев К.С. Проектирование цифровой образовательной среды // Азимут научных исследований: педагогика и психология. – 2021. – Т. 10. – №2 (35). – С. 229-232.
4. Капцов А.В., Колесникова Е.И. Методика оценки образовательной среды вуза в условиях ее цифровизации // Вестник Самарской гуманитарной академии. Серия: психология. – 2019. – № 2(26). – С. 147-157.
5. Гордеева Т.О., Сычев, О.А., Осин Е.Н. Опросник «Шкалы академической мотивации» // Психологический журнал. – 2014. – Т.35. – №4. – С.98-109.
6. Маршанская Л.В., Лесниченко Г.И. Информатизация образования как одно из приоритетных направлений государственной политики в области образования // Наука и образование сегодня. – 2018. – Т. 3. – №26. – С. 62-67.
7. Леонтьев Д.А., Осин Е.Н., Досумова С.Ш., Рзаева Ф.Р., Бобров В.В. Переживания в учебной деятельности и их связь с психологическим благополучием // Психологическая наука и образование. – 2018. – Т. 23. – №6. – С.55-66. – DOI:10.17759/pse.2018230605.
8. Магомедов А.М. Проблемы и тенденции развития цифрового образования // Педагогика и просвещение. – 2019. – №2. – С. 134–142. – DOI: 10.7256/2454–0676.2019.2.27084.
9. Лейбина А.В., Шукурян Г.А. Способы повышения эффективности онлайн-образования // Современная зарубежная психология. – 2020. – Т. 9. – №3. – С. 21-33. – doi:10.17759/jmfr.2020090302.
10. Жоусянь О. Сравнительный анализ китайской и российской цифровой образовательной среды в сфере высшего образования (на примере Московского педагогического государственного университета и Пекинского государственного педагогического университета) // Педагогика и просвещение. – 2022. – №2. – С. 35-46.
11. Марголис А.А. Что смешивает смешанное обучение? // Психологическая наука и образование. – 2018. – Т. 23. – №3. – С. 5-9. – DOI:10.17759/ps.
12. Грядунова Е.Н. Внедрение учебных курсов MOODLE в образовательный процесс // Ученые записки Орловского Государственного университета. – Орел: ОГУ имени И.С. Тургенева. – 2022. – №2(95). – С. 190-194. Грядунова Е.Н., Токмакова М.А., Якунина М.А., Родичева И.В. Использование информационной образовательной платформы при проведении лабораторной работы // Мир транспорта и технологических машин. – Орел: ОГУ имени И.С. Тургенева. – 2022. – №2(77) – С. 92-99.
14. Кочеткова И.С., Терская Л.А. Опыт использования системы электронного обучения (Moodle) в общенаучных и специальных дисциплинах [Электронный ресурс] / Азимут научных исследований: педагогика и психология. – 2017. – Т. 4. – №21. – С. 93–97. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/>.
15. Сорокова М.Г. Цифровая образовательная среда университета: кому более комфортно в ней учиться? // Психологическая наука и образование. – 2020. – Т. 25. – №2. – С. 44-58. – DOI:10.17759/pse.2020250204. Алексеев Г.В., Башева Е.П. Виртуальная лабораторная работа как элемент учебно-

исследовательской работы студента // Высокие интеллектуальные технологии и инновации в национальных исследовательских университетах: Материалы Международной научно-методической конференции. - 2014. - С.4-6.

17. Быстрая система оценки образовательной среды университета Данди (Dundee Ready Education environment Measure, dreem): обзор ее использования и внедрения в практику // Медицинское образование и профессиональное развитие. - 2020. - №2(38). - С. 150-174.

18. Briesch A.M., Chafouleas S.M., Cintron D.W., McCoach D.B. Factorial invariance of the Usage Rating Profile for Supporting Students' Behavioral Needs (URP-NEEDS) // Journal of School Psychology. - 2020. - Vol. 35. - №1. - P. 51- 60. - DOI:10.1037/spq0000309/.

19. Dorman J.P. Validation and Use of an Instrument to Assess University-level Psychosocial Environment in Australian Universities // Journal of Further and Higher Education. - 2000. - Vol. 24. - №1. - P.25-38. - DOI:10.1080/030987700112291.

20. Herrmann K.J., Bager-Elsborg A., Parpala A. Measuring perceptions of the learning environment and approaches to learning: validation of the learn questionnaire // Scandinavian Journal of Educational Research. - 2017. - Vol. 61. - №5. - P. 526-539. - DOI:10.1080/00313831.2016.1172497.

21. Miles S., Swift L., Leinster S.J. The Dundee Ready Education Environment Measure (DREEM): A review of its adoption and use // Medical Teacher. - 2012. - Vol. 34. - №9. - P. 620-634. - DOI:10.3109/0142159X.2012.

Грядунова Елена Николаевна

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: gryadunova6565@mail.ru

Якунина Мария Андреевна

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

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

Студент

E-mail: yakun@mail.ru

Серебrenников Артем Дмитриевич

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

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

Студент

E-mail: silver57.93@mail.ru

E.N. GRYADUNOVA, M.A. YAKYNINA, A.D. SEREBRENNIKOV

USING DIGITAL EDUCATIONAL UNIVERSITY RESOURCES

Abstract. The article analyzes the digital educational resources of the university based on OSU. I.S. Turgenev. The content of academic disciplines on the Moodle digital platform was studied. An assessment was made of the demand for and student satisfaction with the digital educational space provided by the university.

Key words: digital educational environment, students, online courses, digital content, academic disciplines

BIBLIOGRAPHY

1. Dobud'ko T.V., Gorbato V.S., Dobud'ko A.V., Pugach O.I. Metodika otsenki elektronnoy informatsionno-obrazovatel'noy sredy pedagogicheskogo vuza // Samarskiy nauchnyy vestnik. - 2018. - № 3(24). - S. 311-316.
2. Zaychikova N.A. Razrabotka metodiki izmereniya po shkale uspevaemost'-motivatsiya rezul'tatov raboty s testovymi sistemami v tsifrovoy obrazovatel'noy srede // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. - 2018. - № 4. - DOI:10.17513/spno.27902.
3. Kutepova L.I., Popkova A.A., Zhidkov A.A., Gordeev K.S. Proektirovanie tsifrovoy obrazovatel'noy sredy // Azimut nauchnykh issledovaniy: pedagogika i psikhologiya. - 2021. - T. 10. - №2(35). - S. 229-232.
4. Kapsov A.V., Kolesnikova E.I. Metodika otsenki obrazovatel'noy sredy vuza v usloviyakh ee tsifrovizatsii // Vestnik Samarskoy gumanitarnoy akademii. Seriya: psikhologiya. - 2019. - № 2(26). - S. 147-157.
5. Gordeeva T.O., Sychev, O.A., Osin E.N. Oprosnik «SHkaly akademicheskoy motivatsii» // Psikhologicheskiy zhurnal. - 2014. - T.35. - №4. - S.98-109.
6. Marshanskaya L.V., Lesnichenko G.I. Informatizatsiya obrazovaniya kak odno iz prioritnykh napravleniy

gosudarstvennoy politiki v oblasti obrazovaniya // Nauka i obrazovanie segodnya. - 2018. - T. 3. - №26. - S. 62-67.

7. Leont`ev D.A., Osin E.N., Dosumova S.SH., Rzaeva F.R., Bobrov V.V. Perezhivaniya v uchebnoy deyatel`nosti i ikh svyaz` s psikhologicheskimi blagopoluchiyami // Psikhologicheskaya nauka i obrazovanie. - 2018. - T. 23. №6. - S.55-66. - DOI:10.17759/pse.2018230605.

8. Magomedov A.M. Problemy i tendentsii razvitiya tsifrovogo obrazovaniya // Pedagogika i prosveshchenie. - 2019. - №2. - S. 134-142. - DOI: 10.7256/2454-0676.2019.2.27084.

9. Leybina A.V., Shukuryan G.A. Sposoby povysheniya effektivnosti onlayn-obrazovaniya // Sovremennaya zarubezhnaya psikhologiya. - 2020. - T. 9. - №3. - S. 21-33. - doi:10.17759/jmfp.2020090302.

10. Zhousyan` O. Sravnitel`nyy analiz kitayskoy i rossiyskoy tsifrovoy obrazovatel`noy sredy v sfere vysshego obrazovaniya (na primere Moskovskogo pedagogicheskogo gosudarstvennogo universiteta i Pekinskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta) // Pedagogika i prosveshchenie. - 2022. - №2. - S. 35-46.

11. Margolis A.A. CHto smeshivaet smeshannoe obuchenie? // Psikhologicheskaya nauka i obrazovanie. - 2018. - T. 23. - №3. - S. 5-9. - DOI:10.17759/ps.

12. Gryadunova E.N. Vnedrenie uchebnykh kursov MOODLE v obrazovatel`nyy protsess // Uchenye zapiski Orlovskogo Gosudarstvennogo universiteta. - Orel: OGU imeni I.S. Turgeneva. - 2022. - №2(95). - S. 190-194.

13. Gryadunova E.N., Tokmakova M.A., Yakunina M.A., Rodicheva I.V. Ispol`zovanie informatsionnoy obrazovatel`noy platformy pri provedenii laboratornoy raboty // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - Orel: OGU imeni I.S. Turgeneva. - 2022. - №2(77). - S. 92-99.

14. Kochetkova I.S., Terskaya L.A. Opyt ispol`zovaniya sistemy elektronnoy obucheniya (Moodle) v obshchenauchnykh i spetsial`nykh distsiplinakh [Elektronnyy resurs] / Azimut nauchnykh issledovaniy: pedagogika i psikhologiya. - 2017. - T. 4. - №21. - S. 93-97. - Rezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/>.

15. Sorokova M.G. Tsifrovaya obrazovatel`naya sreda universiteta: komu bolee komfortno v ney uchiť'sya? // Psikhologicheskaya nauka i obrazovanie. - 2020. - T. 25. - №2. - S. 44-58. - DOI:10.17759/pse.2020250204.

16. Alekseev G.V., Basheva E.P. Virtual`naya laboratornaya rabota kak element uchebno-issledovatel`skoy raboty studenta // Vysokie intellektual`nye tekhnologii i innovatsii v natsional`nykh issledovatel`skikh universitetakh: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii. - 2014. - S.4-6.

17. Bystraya sistema otsenki obrazovatel`noy sredy universiteta Dandi (Dundee Ready Education environment Measure, dreem): obzor ee ispol`zovaniya i vnedeniya v praktiku // Meditsinskoe obrazovanie i professional`noe razvitiye. - 2020. - №2(38). - S. 150-174.

18. Briesch A.M., Chafouleas S.M., Cintron D.W., McCoach D.B. Factorial invariance of the Usage Rating Profile for Supporting Students' Behavioral Needs (URP-NEEDS) // Journal of School Psychology. - 2020. - Vol. 35. - №1. - P. 51- 60. - DOI:10.1037/spq0000309/.

19. Dorman J.P. Validation and Use of an Instrument to Assess University-level Psychosocial Environment in Australian Universities // Journal of Further and Higher Education. - 2000. - Vol. 24. - №1. - P.25-38. - DOI:10.1080/030987700112291.

20. Herrmann K.J., Bager-Elsborg A., Parpala A. Measuring perceptions of the learning environment and approaches to learning: validation of the learn questionnaire // Scandinavian Journal of Educational Research. - 2017. - Vol. 61. - №5. - P. 526-539. - DOI:10.1080/00313831.2016.1172497.

21. Miles S., Swift L., Leinster S.J. The Dundee Ready Education Environment Measure (DREEM): A review of its adoption and use // Medical Teacher. - 2012. - Vol. 34. - №9. - P. 620-634. - DOI:10.3109/0142159X.2012.

Gradynova Elena Nikolaevna

Orel State University

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

Candidate of technical sciences

E-mail: gryadunova6565@mail.ru

Yakynina Maria Andreevna

Orel State University

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

Student

E-mail: yakun@mail.ru

Serebrennikov Artem Dmitrievich

Orel State University

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

Student

E-mail: silver57.93@mail.ru

Научная статья

УДК 629.083

doi:10.33979/2073-7432-2023-4-1(83)-128-135

А.С. ГРИШИН, В.И. САРБАЕВ, С. ДЖОВАНИС, А.Г. ГУСЕВ

**ВЫБОР ПОСТАВЩИКОВ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ
ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ АВТОСЕРВИСА**

Аннотация. В статье предложен алгоритм выбора поставщиков, в зависимости от вида заявки на запасные части и наличия запасных частей на складах поставщиков. Разработаны критерии выбора локальных поставщиков запасных частей. Для непосредственного выбора поставщиков предложено использовать метод многокритериального ранжирования альтернатив ELECTRE I, что позволяет сократить общее количество поставщиков и повысить эффективность работы системы материально технического обеспечения автосервиса. Практическая реализация метода позволила сократить общее количество локальных поставщиков сети дилерских станций автосервиса с пяти до двух. Веса критериев при использовании метода определялись группой экспертов (состоящей из специалистов рассматриваемого предприятия и приглашенных лиц). Показана необходимость регулярной проверки поставщиков с помощью вышеуказанного метода ELECTRE и его аналогов, а также интеграция метода в информационную систему предприятия для упрощения практических расчетов.

Ключевые слова: поставщики, автосервис, запасные части, метод ELECTRE, многокритериальные альтернативы, критерии выбора

Введение

В настоящее время, в связи с нарушением цепочек поставок большинства ведущих автопроизводителей, предприятия автосервиса (как дилерские, так и независимые) столкнулись с нехваткой запасных частей и комплектующих для выполнения технического обслуживания и ремонта автотранспортных средств. Если ранее дистрибьюторы обязывали дилерские предприятия пользоваться только официальными каналами поставок запасных частей, теперь данные обязательства «де факто» с дилеров сняты. В связи с этим, дилерские предприятия самостоятельно начали заниматься поиском запасных частей (как оригинальных, так и неоригинальных). Многие дилерских предприятия, для которых цепочки поставок производителя являлись основными, оказались не готовы к такой работе (у персонала, занимающегося закупками, отсутствовал подобный опыт, программное обеспечение дилеров, настроенное на работу с одним поставщиком (дистрибьютором производителя), потребовало серьезных доработок. В то же время, столкнувшись с большим количеством поставщиков запасных частей, дилеры не всегда принимают оптимальные решения по их выбору, что чревато усугублением проблем дефицита, снижением качества оказания услуг, ввиду использования некачественных деталей, а также падением рентабельности предприятий. Всё вышеперечисленное ставит серьезный вопрос о выживании автомобильных дилеров, как субъекта рынка (на фоне отсутствия поставок новых автомобилей). При этом грамотный выбор поставщиков, основанный на научном подходе, позволяет дилерам продолжать оказывать весь спектр автосервисных услуг необходимого качества, что способствует удержанию клиентуры и успешной реализации мероприятий по выходу предприятий из сложившегося кризиса.

Материал и методы

Вопросы выбора поставщиков поднимались в ряде предыдущих исследований. В работе [1] предложено использование метода анализа иерархий (МАИ), к преимуществам метода автор относит четкое выражение суждений профессионалов и лиц, принимающих решение и ясное представление проблемы. На заключение о выборе поставщика влияют итоги работы с уже действующими поставщиками, на основе которых осуществляется расчет рейтинга поставщика. Вычисление рейтинга поставщика определяется суммированием произведений весов выбранных критериев на его оценку (по десятибалльной шкале). В работе [2] предлагается использовать нейронные сети для оценки поставщиков услуг автосервиса.

В данном исследовании предложена методика работы с поставщиками позволяющая учесть адаптивные свойства при принятии оперативных решений, что снижает риск при отсутствии экспертных оценок.

В работах [3, 4] анализируются и сравниваются экспертных оценок ELECTRE, SAW, TOPSIS и ML-LDM. Одним из актуальных направлений исследований является включение в процесс принятия решений нечётких оценок: интервальных, качественных и т. д. Исследуемые в работе методы сравниваются по заданному набору критериев на примере решения конкретных практических задач. В работах [4, 5] сделаны выводы о высокой степени применимости методов ELECTRE, особенно при структурированности исходных данных. В работе [6] уделено внимание важности концептуального подхода к организации межфирменного взаимодействия.

В работах [7-10], обоснована важность наличия эффективной системы контроля качества запасных частей, как при производстве автомобилей, агрегатов и узлов, так и в процессе их эксплуатации.

Работы [11-13] посвящены исследованиям конкурентоспособности предприятий. В данных исследованиях показана важность системного подхода к работе с поставщиками организаций.

Исследования [14-20] посвящены изучению качества запасных частей и оценке поставщиков.

Теория и расчет

Прежде чем перейти непосредственно к выбору метода определения эффективных поставщиков, определим типы поставщиков, необходимых предприятию для обработки потока заявок на запасные части, и, на основании этого, сформулируем основные критерии выбора поставщиков.

На рисунке 1 представлен алгоритм обработки заявок на запасные части на предприятии автосервиса.

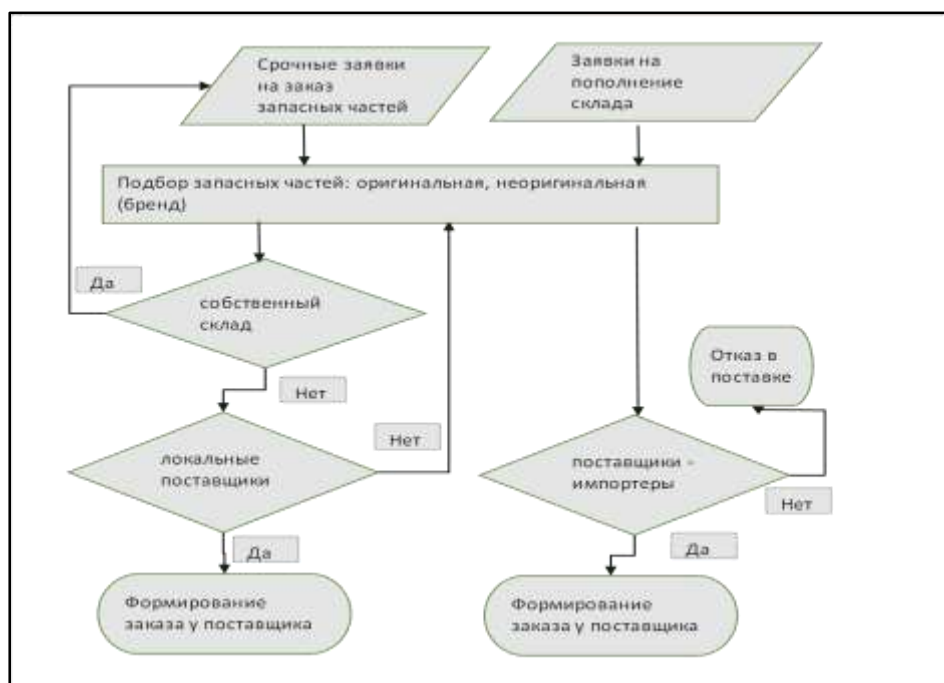


Рисунок 1 - Алгоритм обработки заявок на запасные части на предприятии автосервиса

В исследованиях [9, 14] предлагается выбирать поставщиков на основе цен, условий поставки, гарантии, наличия сертификатов на товары, а также использования систем менеджмента ISO.

Очевидно, что критерии для поставщиков-импортёров, организующих оптово-розничные поставки товаров из-за рубежа, (преимущественно это сборные контейнерные от-

грузки) и локальных поставщиков (располагающих складами запасных частей в регионе нахождения автосервиса) будут отличаться.

Сформулируем основные критерии выбора локальных поставщиков предприятия автосервиса:

Цена запасных частей и комплектующих. Для корректного сравнения выбирается некий эталонный заказ запасных частей, в который должны войти запасные части нескольких групп. Например, если номенклатура товара на предприятии сгруппирована по принципу ABC, то в него обязательно должны войти детали группы А, а также наиболее часто расходуемые запчасти группы В.

Ширина предложения (прайс-лист наличия). Важно, чтобы поставщик максимально удовлетворял потребность автосервиса в деталях высокого спроса. Групп А и В.

Минимальная партия для заказа с доставкой. Наличие определенных лимитов на поставку запасных частей, может блокировать разовые небольшие заказы (заставлять сервис «копить» заказы), что может приводить к снижению удовлетворенности клиентов.

Количество доставок в день. Количество доставок несколько раз в день, увеличивает конкурентоспособность предприятия автосервиса. Автомобили в таком случае могут приниматься в ремонт «с колес».

Финансовое состояние. Важная составляющая в условиях нестабильности цепочек поставок (особенно если предусмотрена предоплата за заказы или резерв денежных средств на счетах поставщика, для автоматического списывания за заказы).

Наличие персонала. Наличие официально оформленного персонала в штате организации говорит о положительной репутации компании.

Наличие контрафакта. При высоком уровне контрафакта появляются серьезные риски для репутации автосервиса.

Выполнение обязательств по заказам. Не всегда электронные прайс-листы компании своевременно обновляются или могут содержать недостоверную информацию о складских остатках. Неожиданные отказы в поставках приводят к сбоям в работе автосервиса и потере клиентуры.

Для решения практической задачи выбора локальных поставщиков запасных для компании сети дилерских автосервисов компании ООО «СП БИЗНЕС КАР» воспользуемся методом ELECTRE 1, первым в семействе методов ELECTRE. Методы ELECTRE возникли благодаря предложенному в конце 60-х годов группой французских ученых под руководством профессора Б. Руа подхода к попарному сравнению многокритериальных альтернатив. Оценка каждой альтернативы является относительной по сравнению с другой альтернативой.

Основные преимущества данного метода состоит в том, что при его применении заранее не отдается предпочтений ни одной из альтернатив, уровни коэффициентов согласия и несогласия представляют собой инструмент анализа для лица, принимающего решения; также есть возможность выделить альтернативы с противоречивыми оценками.

К недостатку метода можно отнести: невозможность определения количественных показателей качества каждой альтернативы.

Для принятия решения предварительно отобраны 5 поставщиков, предложения которых предварительно удовлетворяют компанию. Однако, одновременная работа с 5-ю поставщиками по основным номенклатурным группам товаров нецелесообразна для компании, поскольку существенно увеличивает трудозатраты персонала на взаимодействие с поставщиками, а также уменьшает привлекательность компании, как клиента, так как объемы закупок на одного поставщика при большом количестве поставщиков будут относительно невелики, что повлечёт снижение оптовых скидок и прочих возможных привилегий для компании.

На начальном этапе составим матрицу исходных данных (табл. 1).

В таблице 1, кроме предложений потенциальных поставщиков, приведены веса критериев, рассчитанные на основании мнений экспертной группы (тендерного комитета компании и приглашенных специалистов отделов закупок 6 дилерских автосервисов и 3-х независимых СТО).

Таблица 1 - Матрица исходных данных

Поставщик (торговое наименование)	Цена лота (стандартной партии), руб	Ширина предложения (прайс-лист наличия),шт	Минимальна я партия для заказа с доставкой, руб	Количество доставок в день, шт	Фин. состояние	Наличие персонала, шт	Возможного наличия контрафакта	Выполнение обязательств
Автостелс	355 490	40 452	2 000	2	отличное	90	нет	97%
ГК Юником	325 465	90 648	10 000	1	отличное	125	нет	99%
Автопитер	316 454	165 449	5 000	2	отличное	400	да	92%
Гринлайт	321 645	137 554	10 000	2	отличное	244	нет	97%
АВД Моторс	274 441	27 455	1 000	1	хорошее	31	да	89%
Веса	0.3	0.15	0.05	0.2	0.1	0.05	0.1	0.05

Приведем матрицу к нормализованному виду по формуле (1). Для нормализации качественных оценок воспользуемся оценками ранее выбранной группы экспертов.

$$f_i^{norm}(x_j) = \frac{f_i(x_j)}{f_i(x_j^{max})}, \quad (1)$$

где x_j – значение критерия;

x_j^{max} – максимальное значение критерия среди рассматриваемых поставщиков.

Нормализованная матрица исходных данных представлена в таблице 2.

Таблица 2 - Нормализованная матрица исходных данных

Поставщик (торговое наименование)	Цена лота (стандартной партии)	Ширина предложения (прайс-лист наличия)	Минимальна я партия для заказа с доставкой, руб.	Количество доставок в день	Фин. состояние	Наличие персонала	Возможного наличия контрафакта	Выполнение обязательств
Автостелс А	6	7	9	2	9	9	10	9
ГК Юником В	7	8	7	0.5	10	9	10	10
Автопитер С	7	10	8	2	8	10	0	7
Гринлайт D	7	10	7	2	9	10	10	9
АВД Моторс F	10	5	10	1	8	6	0	5
Веса	0.3	0.15	0.05	0.2	0.1	0.05	0.1	0.05

Составим средневзвешенную матрицу оценок критериев (табл. 3), для расчёта используем формулу (2):

$$p_i = x_j \times w_i, \quad (2)$$

где p_i - средневзвешенная оценка критерия;

x_j - значение критерия;

w_i - веса критериев.

Далее перейдем к составлению матриц согласия и несогласия, которые являются основой метода ELECTRE.

Таблица 3 - Средневзвешенная матрица критериев

Поставщик (код)	Цена лота (стандартной партии)	Ширина предложения (прайс-лист наличия)	Минимальна я партия для заказа с доставкой, руб.	Количество доставок в день	Фин. состояние	Наличие персонала	Возможного наличия контрафакта	Выполнение обязательств
A	0.0474	0.0263	0.0110	0.0533	0.0205	0.0102	0.0333	0.0113
B	0.0553	0.0300	0.0085	0.0133	0.0227	0.0102	0.0333	0.0125
C	0.0553	0.0375	0.0098	0.0533	0.0182	0.0114	0.0000	0.0088
D	0.0632	0.0375	0.0085	0.0533	0.0205	0.0114	0.0333	0.0113
F	0.0789	0.0188	0.0122	0.0267	0.0182	0.0068	0.0000	0.0063

Рассчитаем индексы согласия и несогласия по формулам (3) и (4) соответственно:

$$C_{ij} = \frac{\sum_{q \in Q^+, Q^-} x_q}{\sum_{q=1}^Q x_q}, q \in [1, Q], \quad (3)$$

где C_{ij} – индекс согласия с гипотезой, что $x_i > x_j$, Q^+ , Q^- - подмножества критериев, по которым $x_i > x_j$ и $x_i = x_j$, $x_i, x_j \in X$.

$$D_{ij} = \max_{i \in Q^-} \frac{x_j^q - x_i^q}{L^q}, q \in [1, Q], \quad (4)$$

где D_{ij} – индекс несогласия с гипотезой, что $x_i > x_j$, Q^- – подмножество критериев, по которым $x_i < x_j$, $x_i, x_j \in X$.

Индекс несогласия определяется на основе самого противоречивого критерия, по которому x_j в наибольшей степени превосходит x_i .

Матрицы согласия и несогласия приведены в таблицах 4 и 5 соответственно.

Далее вычислим результирующую матрицу доминирующих альтернатив (табл. 6). Для начала установим пороговые уровни согласия и несогласия помощью формул (5) и (6).

Таблица 4 - Матрица индексов согласия

	A	B	C	D	F
A		0.5060	0.6067	0.6067	0.7263
B	0.8824		0.6660	0.4147	0.5851
C	0.8110	0.8613		0.5766	0.6651
D	0.9643	0.8673	0.9643		0.6999
F	0.5431	0.7020	0.6515	0.5431	

Таблица 5 - Матрица индексов несогласия

	A	B	C	D	F
A		0.0079	0.0113	0.0158	0.0316
B	0.0400		0.0400	0.0400	0.0237
C	0.0333	0.0333		0.0333	0.0237
D	0.0024	0.0023	0.0012		0.0158
F	0.0333	0.0333	0.0267	0.0333	

Таблица 6 - Результирующая матрица

	A	B	C	D	F
A		-	-	-	+
B	+		-	-	-
C	+	+		-	-
D	+	+	+		-
F	-	+	-	-	

$$C_{ij} \geq \alpha_{lim}, \quad (5)$$

где α – пороговый уровень согласия.

$$D_{ij} \leq \gamma_{lim}, \quad (6)$$

где γ – пороговый уровень несогласия.

Оставшиеся альтернативы образуют первое ядро, альтернативы в котором могут быть как эквивалентными, так и несравнимыми. Если индекс согласия выше заданного уровня, а индекс несогласия ниже, то одна альтернатива превосходит другую. В противном случае альтернативы несравнимы.

На рисунке 2 представлен результирующий граф выбора поставщиков. Поставщик D является наилучшим, с ним и будет заключен договор на поставку запасных частей в первую очередь. Поставщик C лучше поставщиков A и B он будет являться вспомогательным поставщиком для компании.

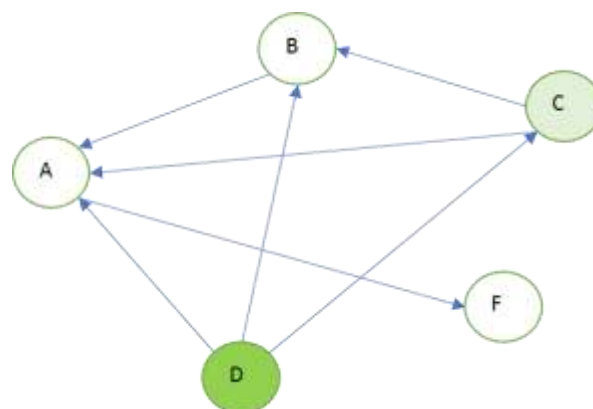


Рисунок 2 - Результирующий граф выбора поставщиков

Результаты и обсуждение

В ходе исследования решена научно-практическая задача по выбору поставщиков запасных частей для предприятия автосервиса. Выбор осуществлен на основе метода ранжирования многокритериальных альтернатив ELECTRE 1.

Разработанный алгоритм обработки заявок на запасные части может быть использован для распределения заказов между поставщиками с целью эффективного планирования работы специалистов по запасным частям предприятий автосервиса и выявления новых направлений для развития системы материально-технического обеспечения автосервиса.

Разработанные критерии выбора поставщиков универсальны для любого предприятия автосервиса и могут являться практическим руководством для выбора поставщиков любого автосервиса.

Выводы

Применение метода ELECTRE 1 обоснованно для выбора поставщиков предприятий автосервиса. Математический аппарат метода может быть интегрирован в программное обеспечение предприятий для упрощения расчётов.

Рекомендуется периодическая оценка соответствия действующих поставщиков по разработанным критериям, а также потенциальных поставщиков для возможного появления лучшей альтернативы на рынке.

Дальнейшие исследования должны быть направлены для определения критериев выбора поставщиков-импортеров, а также использование методов многокритериального анализа для выбора поставщиков данной группы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еремеева Ю.В. Управление выбором поставщиков продукции на предприятии автосервиса (на примере ООО «Пермьтранссервис» // Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки: Материалы Всероссийской конференции с международным участием. – Москва: Перо, 2017. – С. 322-326.
2. Хаирова С.М., Хаиров Б.Г., Шимохин А.В. Методика работы с поставщиками на основе моделирования работы нейронной сети при решении вопросов выбора поставщиков услуг // Фундаментальные исследования. – 2020. – №7. – С. 129-137.
3. Демидовский А.В. Сравнительный анализ методов многокритериального принятия решений: ELECTRE, TOPSIS и ML-LDM // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. – 2020. – Т. 1. – С. 234-237.
4. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в волшебных странах: Учебник. – М.: Логос, 2003.
5. Гавриловская С.П. Выбор и оценка поставщика с использованием метода многокритериального выбора // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2017. – №5. – С. 187-192.
6. Неретина Е.А., Курочкин О.Н. Обоснование альтернативных вариантов выбора поставщика комплектующих изделий на основе концепций межфирменного взаимодействия // Региональная экономика: теория и практика. – 2012. – №11. – С. 35-42.
7. Бондаренко Е.В., Дрючин Д.А., Булатов С.В. Оценка целесообразности организации входного контроля качества запасных частей в условиях автотранспортного предприятия // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2021. – №2. – С. 71-78.
8. Макарова И.В., Буйвол П.А., Шубенкова К.А., Мухаметдинов Э.М. Прогнозирование надежности поставщика запасных частей для нового модельного ряда автомобильной техники // Современные наукоемкие технологии. – 2018. – №6. – С. 101-106.
9. Копнов В.А., Бессонов А.И., Астафьева О.М. Стратегический подход к управлению качеством закупок машиностроительного предприятия: моногр. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2012. – 142 с.
10. Шупляков В.С., Яковенко Г.В., Первунин С.Н. [и др.] Конкурентоспособность предприятий автомобильного сервиса // Известия МГТУ МАМИ. – 2012. – Т. 1. – №1(13). – С. 309-317.
11. Андреева О.Д. Технология бизнеса. Маркетинг: Учебное пособие. – М.: Дело, 2001.
12. Кирцнер И.М. Конкуренция и предпринимательство. – М.: Юнити-Дана, 2001.
13. Фляйшер К., Бенсуссан Б. Стратегический и конкурентный анализ. Методы и средства конкурентного анализа в бизнесе. – Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2016. – 541 с.
14. Sarkis J., Dhavale D.J. Supplier selection for sustainable operations // A triple-bottom-line approach using a Bayesian framework: Int. J. Production Economics. – 2015. – Vol. 166. – P. 177-191.

15. Guo Zhiming, Yan Hongsen, Chen Shihua et al. Research on Spare Parts Inventory Control // Computer Integrated Manufacturing Systems. – 2003. – №9(6). – P. 1028-1032.
16. Жаров С.П. Система контроля качества запасных частей на предприятиях автомобильного транспорта // Вестник КГУ. – 2010. – №1. – С. 28-31.
17. Айдаров Д.В., Козловский В.Н., Крцкий А.В., Муталов А.Д. Комплекс основного инструментария процесса внутреннего мониторинга качества продукции на машиностроительном предприятии // Известия Самарского научного центра Российской Академии Наук. – 2019. – Т. 21. – №5. – С. 22-27.
18. Макарова А.А., Нордин В.В. Анализ направлений маркетинговой политики автосервисного предприятия // Вестник молодежной науки. – 2019. – №5(22). – С. 14.
19. Govindana K., Rajendran S., Sarkis J., Murugesan P. and others. Multi criteria decision making approaches for green supplier evaluation and selection: a literature review // Journal of Cleaner Production. – 2015. – Vol. 98. – P. 66-83.
20. Wetzstein A., Hartmann E., Benton jr. W.C. and others. A systematic assessment of supplier selection literature – State-of-the-art and future scope // International Journal of Production Economics. – 2016. – Vol. 182. – P. 304-323.

Гришин Александр Сергеевич

Московский политехнический университет
Адрес: 107023, Россия, Москва, ул. Б. Семеновская, 38
К.т.н., докторант
E-mail: agrishin@toyotabc.ru

Сарбаев Владимир Иванович

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

Джованис Симос

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

Гусев Андрей Георгиевич

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

A.S. GRISHIN, V.I. SARBAYEV, S. DZJOVANNISS, A.G. GUSEV

SELECTION OF SUPPLIERS OF SPARE PARTS FOR CAR SERVICE ENTERPRISES

Abstract. The article proposes an algorithm for selecting suppliers, depending on the type of application for spare parts, and develops criteria for selecting suppliers. For the direct selection of suppliers, it is proposed to use the method of multi-criteria ranking of alternatives to ELECTRE 1, which reduces the total number of car service providers.

Keywords: suppliers, auto repair, spare parts, ELECTRE method, multi-criteria alternatives, selection criteria

BIBLIOGRAPHY

1. Ereemeeva Yu.V. Upravlenie vyborom postavshchikov produktsii na predpriyatii avtoservisa (na pri-mere ООО «Perm`transservis») // Sovremennoe sostoyanie, problemy i perspektivy razvitiya otraslevoy nauki: Materialy Vse-rossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. – Moskva: Pero, 2017. – S. 322-326.
2. Hairnova S.M., Hairnov B.G., Shimokhin A.V. Metodika raboty s postavshchikami na osnove modelirovaniya raboty neyronnoy seti pri reshenii voprosov vybora postavshchikov uslug // Fundamental`nye issledovaniya. – 2020. – №7. – S. 129-137.
3. Demidovskiy A.V. Sravnitel`nyy analiz metodov mnogokriterial`nogo prinyatiya resheniy: ELECTRE, TOPSIS

- i ML-LDM // Mezhdunarodnaya konferentsiya po myagkim vychisleniyam i izmereniyam. - 2020. - T. 1. - S. 234-237.
4. Larichev O.I. Teoriya i metody prinyatiya resheniy, a takzhe Hronika sobytiy v volshebnykh stranakh: Uchebnik. - M.: Logos, 2003.
5. Gavrilovskaya S.P. Vybory i otsenka postavshchika s ispol'zovaniem metoda mnogokriterial'nogo vybora // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova. - 2017. - №5. - S. 187-192.
6. Neretina E.A., Kurochkin O.N. Obosnovanie al'ternativnykh variantov vybora postavshchika komplektuyushchikh izdeliy na osnove kontseptsii mezhfirmennogo vzaimodeystviya // Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika. - 2012. - №11. - S. 35-42.
7. Bondarenko E.V., Dryuchin D.A., Bulatov S.V. Otsenka tselesoobraznosti organizatsii vkhodnogo kontrolya kachestva zapasnykh chastei v usloviyakh avtotransportnogo predpriyatiya // Intellekt. Innovatsii. Investitsii. - 2021. - №2. - S. 71-78.
8. Makarova I.V., Buyvol P.A., Shubenkova K.A., Mukhametdinov E.M. Prognozirovaniye nadezhnosti postavshchika zapasnykh chastei dlya novogo model'nogo ryada avtomobil'noy tekhniki // Sovremennye naukoemkie tekhnologii. - 2018. - №6. - S. 101-106.
9. Kopnov V.A., Bessonov A.I., Astaf'eva O.M. Strategicheskii podkhod k upravleniyu kachestvom zakupok mashinostroitel'nogo predpriyatiya: monogr. - Ekaterinburg: Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2012. - 142 s.
10. Shuplyakov V.S., Yakovenko G.V., Pervunin S.N. [i dr.] Konkurentosposobnost' predpriyatiy avtomobil'nogo servisa // Izvestiya MGTU MAMI. - 2012. - T. 1. - №1(13). - S. 309-317.
11. Andreeva O.D. Tekhnologiya biznesa. Marketing: Uchebnoe posobie. - M.: Delo, 2001.
12. Kirtsner I.M. Konkurentsia i predprinimatel'stvo. - M.: YUnita-Dana, 2001.
13. Flyaysher K., Bensussan B. Strategicheskii i konkurentnyy analiz. Metody i sredstva konkurentnogo analiza v biznese. - Moskva: BINOM. Laboratoriya znaniy, 2016. - 541 s.
14. Sarkis J., Dhavale D.J. Supplier selection for sustainable operations // A triple-bottom-line approach using a Bayesian framework: Int. J. Production Economics. - 2015. - Vol. 166. - R. 177-191.
15. Guo Zhiming, Yan Hongsen, Chen Shihua et al. Research on Spare Parts Inventory Control // Computer Integrated Manufacturing Systems. - 2003. - №9(6). - P. 1028-1032.
16. Zharov S.P. Sistema kontrolya kachestva zapasnykh chastei na predpriyatiyakh avtomobil'nogo transporta // Vestnik KGU. - 2010. - №1. - S. 28-31.
17. Aydarov D.V., Kozlovskiy V.N., Krtskiy A.V., Mutalov A.D. Kompleks osnovnogo instrumentariya protsessy vnutrennego monitoringa kachestva produktsii na mashinostroitel'nom predpriyatii // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy Akademii Nauk. - 2019. - T. 21. - №5. - S. 22-27.
18. Makarova A.A., Nordin V.V. Analiz napravleniy marketingovoy politiki avtoservisnogo predpriyatiya // Vestnik molodezhnoy nauki. - 2019. - №5(22). - S. 14.
19. Govindana K., Rajendran S., Sarkis J., Murugesan P. and others. Multi criteria decision making approaches for green supplier evaluation and selection: a literature review // Journal of Cleaner Production. - 2015. - Vol. 98. - R. 66-83.
20. Wetzstein A., Hartmann E., Benton jr. W.C. and others. A systematic assessment of supplier selection literature - State-of-the-art and future scope // International Journal of Production Economics. - 2016. - Vol. 182. - R. 304-323.

Grishin Aleksandr Sergeevich

Moscow Polytechnic University

Address: 107023, Russia, Moscow, Semenovskaya str., 38 B

Candidate of technical sciences

E-mail: agrishin@toyotabc.ru

Sarbaev Vladimir Ivanovich

Moscow Polytechnic University

Address: 107023, Russia, Moscow, Semenovskaya str., 38 B

Doctor of technical sciences

E-mail: visarbaev@gmail.com

Tzjovanniss Simos

Moscow Polytechnic University

Address: 107023, Russia, Moscow, Semenovskaya str., 38 B

Postgraduate student

E-mail: singmanos@yahoo.com

Gusev Andrey Georgievich

Moscow Polytechnic University

Address: 107023, Russia, Moscow, Semenovskaya str., 38 B

Postgraduate student

E-mail: andreu200909@icloud.com

Д.В. МИТРОШИН, А.И. ПЕТРОВ

К ВОПРОСУ ОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ТРЕНДОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ И ВЕЛОСИПЕДОВ В РОССИИ

Аннотация. В статье рассмотрена актуальная для России статистика роста и качественной трансформации сектора средств индивидуальной мобильности (СИМ) и велосипедов. Проведен структурный анализ рынка кикшеринга СИМ (2023). Представлены актуальные данные о динамике роста и специфике аварийности с использованием СИМ и велосипедов. Представлены предложения по регулированию использования средств индивидуальной мобильности и велосипедов в России.

Ключевые слова: концепция «Мобильность как услуга», средства индивидуальной мобильности (СИМ), статистика, продажи и использование (личная и арендная), кикшеринг, дорожно-транспортная аварийность с участием СИМ и велосипедов, специфика аварийности

Введение

В сфере транспортного обслуживания населения городов технологии концепции «Мобильность как услуга» (англ. Mobility-as-a-Service, MaaS) постепенно отвоевывают доли рынка мобильности. Идеология MaaS предполагает, что человек во время передвижения в пространстве города может не только чередовать использование разных видов транспорта, но и делать это в рамках единого информационного пространства.

Важное место в системе MaaS занимают электрические средства передвижения (гирокутеры, сегвеи, моноколеса, электроскейты, электросамокаты и т.д.), являющиеся вполне самостоятельным видом транспорта, идентифицируемым в соответствии с Правилами дорожного движения Российской Федерации как «средства индивидуальной мобильности» (далее – СИМ). В то же время СИМ могут служить и связующим звеном между другими видами городского транспорта.

Электрические СИМ в большинстве своем являются более технологичными «конкурентами» такого традиционного транспортного средства, как велосипед. При проведении анализа аварийности эти виды транспортных средств смешивать не принято, в связи с чем статистическое наблюдение по ним ведется раздельно.

Рост популярности электрических СИМ несет с собой и негативные проявления. Важнейшим из них является дорожно-транспортная аварийность, как проявление на физическом уровне рисков использования СИМ.

Материал и методы

В данной статье представлены краткие результаты обзорно-информационного исследования рынка средств индивидуальной мобильности и велосипедов в России; статистические данные о дорожно-транспортной аварийности с участием СИМ, и велосипедов. По результатам работы сформулированы итоговые выводы исследования.

В рамках данной статьи решались две задачи: идентификация тренда динамики роста сектора СИМ и велосипедов в России и его качественный анализ; количественная и качественная оценка динамики и специфики аварийности с использованием СИМ и велосипедов.

Теория

1. Экспертно-статистические исследования рынка СИМ и велосипедов.

1.1. Статистический анализ динамики роста сектора продаж и использования СИМ и велосипедов.

Средства индивидуальной мобильности, несмотря на общественную опасность при безответственном использовании, относятся к категории нерегистрируемых, что не позволя-

ет осуществить их полноценный учет на государственном уровне. Тем не менее, существуют данные о динамике рынка продаж и использования некоторых видов СИМ в России, главным образом, электросамокатов.

В таблице 1 сведены известные данные о продажах СИМ в России [1].

Таблица 1 – Экспертная оценка роста рынка продаж СИМ в России (06.2021/06.2020) [1]

Источник данных	Данные о продажах СИМ, ед.		Экспертное мнение о росте продаж, %
	Первое полугодие 2020	Первое полугодие 2021	
Пресс-служба маркетплейса «AliExpress Россия»	≈ 53000	≈ 320000; доля электросамокатов – 90 %	≈ + 600
Маркетинговая компания «Mobile Research Group»	≈ 100000	≈ 320000	≈ + 320
М.видео-Эльдорадо	Нет точных данных	доля электросамокатов – 90 %	≈ + 80
Маркетплейс «Озон»	Нет точных данных	Нет точных данных	≈ + 600

Итак, к лету 2021 г. в России было продано около 350 тыс. электросамокатов. Около 130 тыс. ед. из этого числа были проданы пользователям – частным лицам; примерно 220 тыс. ед. были приобретены большими компаниями с целью сдачи в аренду.

В таблице 2 представлена информация о динамике роста аренды СИМ в российских городах [2].

Таблица 2 – Экспертная оценка роста рынка аренды СИМ в России (2024/2020) [2]

Источник данных	Данные (факт / прогноз) об объеме рынка аренды СИМ (кикшеринг), ед.					
	Начало 2020	Конец 2020	Май 2021	Сентябрь 2021	Сентябрь 2021	2024
Издатель проекта truesharing.ru Ю. Николаев	≈ 10000	≈ 30000	≈ 85000	≈ 115000	≈ 220000	≈ 330000

Ситуация на рынке СИМ активно развивается. В течение 2020–2024 общий рост рынка аренды СИМ может составить до 3300 %.

В таблицах 3 и 4 приведены данные по динамике рынка аренды СИМ соответственно в России и Москве, представленные участниками Международной отраслевой конференции микромобильности «Съезд на СИМ» (Москва, 6 апреля 2023 г.).

Таблица 3 – Динамика роста рынка СИМ в России

Показатель	Год		
	2020	2021	2022
Число пользователей, млн. чел.	1,6	6,0	12,0
Количество поездок / активного пользователя, ед.	4,0	7,6	10,3
Проникновение сервиса, %	3	11	19
Число поездок за сезон, млн. ед.	≈ 4	26	55
Транспортные поездки, %	65	75	85
Покрываемая территория городов, %	12	20	28

Примечание. Данные предоставлены А. Березиным, директором по данным и аналитике Whoosh.

Таблица 4 – Динамика роста рынка СИМ в Москве

Показатель	Год					
	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Число поездок за сезон, млн. ед.	0,1	0,4	2,0	8,6	26,3	50,0
Число поездок в сутки, тыс. ед.	0,4	3,0	10,0	35,9	104,2	150,0
Размер парка СИМ Москвы, тыс. ед.	3,2	3,3	5,0	25,0	40,0	60,0

Примечание. Данные предоставлены А. Митяевым (Департамент транспорта и развития дорожно-транспортной инфраструктуры города Москвы).

Что касается велосипедов, здесь надо отметить, что в нашей стране ежегодно продается более 4 млн. ед. указанных транспортных средств (табл. 5).

При этом постоянно совершенствуется велоинфраструктура (данные по Москве приведены в таблице 6).

Таблица 5 – Динамика роста рынка велосипедов и совершенствование велосипедной инфраструктуры в России

Показатель	Год				
	2017	2018	2019	2020	2021
Продажи велосипедов, млн. ед.	4,16	4,30	4,35	3,79	4,48
Инвестиции в рамках всероссийского конкурса лучших проектов комфортной городской среды Минстроя России, млрд. руб.	?	34,88			

Примечание. Данные исследования *BusinesStat (2022)* «Анализ рынка велосипедов в России».

Таблица 6 – Динамика совершенствования велосипедной инфраструктуры в Москве

Показатель	Годы			
	2019	2020	2021	2022
Общая протяженность велодорожек, км	291	333	413	473

Примечание. Данные предоставлены М. Галаниной.

1.2. Структурный анализ рынка кикшеринга СИМ (2023).

Проект truesharing.ru [2] собрал воедино данные обо всех компаниях-операторах кикшеринга СИМ. По состоянию на март 2023 г. всего в России насчитывается 26 компаний-операторов кикшеринга СИМ федерального уровня. Большинство из них были запущены в эксплуатацию в 2018–2020 гг. Весной 2023 г. стартует еще один кикшеринг-проект в Москве – SmartWheels.





За все годы существования рынка кикшеринга СИМ прекратил существование один оператор – «ДелиСамокат». Важно отметить и то, что, кроме федеральных компаний, в большинстве из 1118 российских городов существуют мелкие частные компании, оказывающие услуги кикшеринга. Их насчитывается не менее нескольких сотен.

Перечислим федеральные компании, специализирующиеся на услугах кикшеринга СИМ и работающие сегодня: Юрент, Whoosh, Яндекс.Go, MOLNIA, Eleven, Бумеранг, lite, Карусель, Matur.city, Sun Rent, ПоПути, Bike&Go, Red Wheels, toGo, Рушеринг, BusyFly, ScooBee, Zevs, Mangoo, E-motion, Sharing, Shark, Ecoway, Greenbee, Yes Sharing, LifeStyle, Samocat Sharing.




Данные о самых крупных из ныне действующих в России операторов кикшеринга СИМ федерального уровня представлены в таблице 7.

Анализ данных таблицы 7 показывает, что, три самых крупных агента рынка услуг кикшеринга СИМ (Юрент, Whoosh, Яндекс.Go) суммарно осваивают около 22–25 % рынка услуг аренды. Еще десяток компаний контролируют суммарно 10–13 % рынка. На долю остальных (несколько сотен компаний) приходятся оставшиеся 2/3 рынка.

Таблица 7 – Крупнейшие российские компании-операторы кикшеринга СИМов (2023) [2]

Торговая марка	Характеристика				
	Статус	Дата запуска	Количество самокатов	Возраст для регистрации	Города
1	2	3	4	5	6
 Юрент	Действующий	2018	≈ 25000	16	Москва, Санкт-Петербург, Сочи, Анапа, Белгород, Воронеж, Псков, Ессентуки, Казань, Краснодар, Ставрополь
 Whoosh	Действующий	01.06.2019	≈ 25000	18	Москва, Санкт-Петербург, Новосибирск, Тюмень, Сочи
 Яндекс.Go	Действующий	07.07.2021	≈ 10000	18	Москва, Санкт-Петербург, Краснодар, Тула
 Lite	Действующий	25.05.2018	≈ 2000	18	Москва

Окончание таблицы 7

1	2	3	4	5	6
 Карусель	Действующий	2020	≈ 2000	18	Москва, Самара, Калининград, Кострома, Оренбург, Белгород, Сызрань, Люберцы
 Matur.city	Действующий	2020	≈ 1500	18	Уфа, Сочи
 Sun Rent	Действующий	2018	≈ 1000	18	Москва, Иркутск, Раменское, Арзамас, Евпатория, Оренбург, Ульяновск, Трехгорный, Липецк, Киров

2. Оценка динамики роста и специфики аварийности с участием СИМ и велосипедов.

2.1. Статистический анализ аварийности с участием СИМ.

В таблице 8 представлены данные Научного центра БДД МВД России по аварийности с участием СИМ.

Таблица 8 – Динамика показателей дорожно-транспортной аварийности с участием СИМ [3]

Показатель	2019	2020	2021	2022
Число ДТП с участием СИМ, ед.	142	410	672	941
Число раненых в ДТП с участием СИМ, чел.	147	430	704	976
Число погибших в ДТП с участием СИМ, чел.	7	7	20	19

Несмотря на стабилизацию по итогам прошлого года числа погибших, в целом динамика показателей аварийности с участием СИМ характеризуется как негативная.

С учетом того, что СИМ являются преимущественно городским средством передвижения, 99% ДТП с их участием зарегистрировано в границах населенных пунктов. В то же время доля погибших в ДТП пользователей СИМ на дорогах населенных пунктов хотя и преобладает, но ниже, составляя 89 %. Вероятно, диспропорция связана с более высокими скоростями движения вне населенных пунктов и, следовательно, более высокой тяжестью последствий происшествий на соответствующих дорогах.

Почти половина (47 %) ДТП с участием СИМ зарегистрировано в местах пересечения проезжих частей (выезды с прилегающих территорий и перекрестки). Более четверти таких происшествий (27 %) имели место на пешеходных переходах. В местах, характеризующихся более низким уровнем конфликтности транспортных потоков (перегон, тротуар и т.д.), зафиксировано 26 % ДТП (рис. 1).

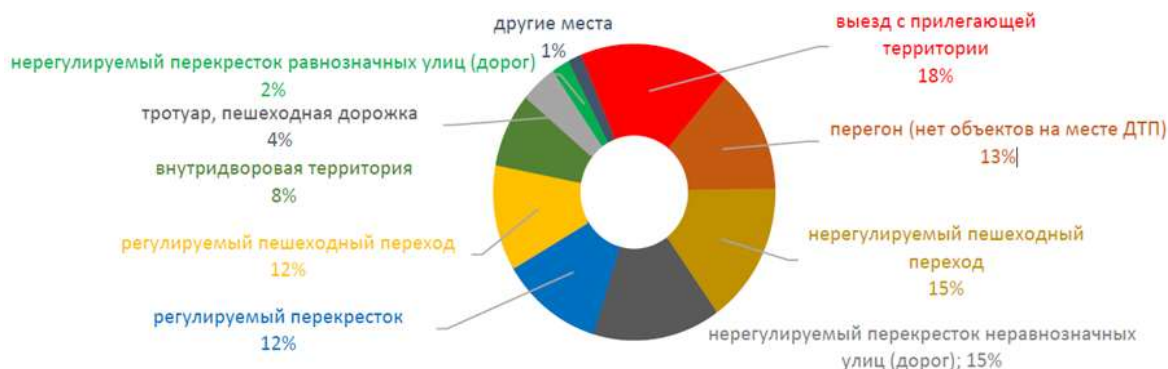


Рисунок 1 – Удельный вес ДТП с участием СИМ в зависимости от объекта улично-дорожной сети, на котором зарегистрировано происшествие (данные НЦ ГИБДД РФ)

Следует также отметить, что каждое третье ДТП произошло с участием арендованных СИМ (рис. 2).

В основном пользователями СИМ, попавшими в ДТП, являлись молодые люди. Так, практически в половине происшествий участвовали люди в возрасте до 25 лет (рис. 3).

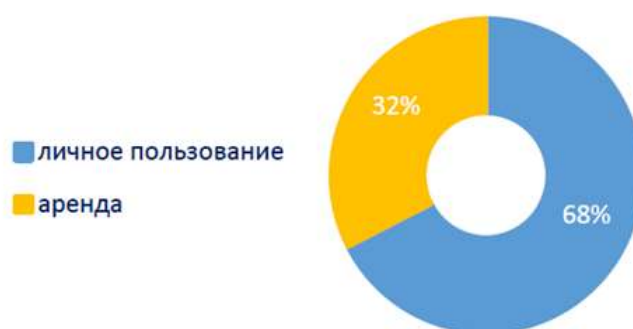


Рисунок 2 – ДТП с участием СИМ в зависимости от основания его использования (данные НЦ ГИБДД РФ)

Большинство ДТП произошло с участием СИМ с электродвигателем мощностью от 0,25 кВт до 4 кВт. На них же приходится наибольшее число погибших (78,9 %) (рис. 4).

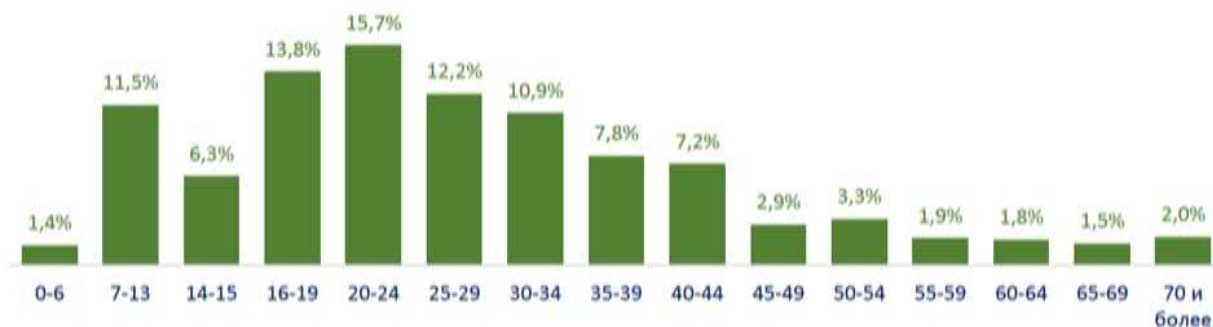


Рисунок 3 – Распределение (%) удельного веса пострадавших в ДТП с участием СИМ по возрастным группам (данные НЦ ГИБДД РФ)



Рисунок 4 – Распределение ДТП и погибших в зависимости от мощности электродвигателя СИМ (данные НЦ ГИБДД РФ)

2.2. Статистический анализ динамики роста аварийности с участием велосипедов

В таблице 9 представлены соответствующие статистические данные Научного центра БДД МВД России.

Таблица 9 – Динамика показателей дорожно-транспортной аварийности с участием велосипедистов [3]

Показатель	2019	2020	2021	2022
Число ДТП с участием велосипедистов, ед.	5368	5713	4899	4806
Число раненых в ДТП с участием велосипедистов, чел.	5035	5364	4608	4508
Число погибших в ДТП велосипедистов, чел.	366	368	308	322

Как и в случае с СИМ, основной средой использования велосипедов являются населенные пункты, где зарегистрирован 91 % ДТП и 61 % погибших.

Распределение происшествий по местам их совершения в целом повторяет картину, характерную для СИМ (рис. 5): по-прежнему, большая часть ДТП приходится на места пересечения транспортных потоков – перекрестки и выезды с прилегающих территорий. В то же время количество ДТП на пешеходных переходах в долевого значении заметно ниже, чем у

СИМ, составляя лишь 17 %.

Вероятно, это связано с тем, что пользователи СИМ по своему статусу «ближе» к пешеходам, чем к лицам, управляющим транспортными средствами, что предопределяет приоритетные для движения элементы улично-дорожной сети.



Рисунок 5 – Распределение ДТП с пострадавшими велосипедистами в зависимости от объекта улично-дорожной сети на месте происшествия (данные НЦ ГИБДД РФ)

Возрастная структура пострадавших в ДТП отличается в зависимости от результата полученных ранений. Если среди раненых превалирует относительно молодой возраст, то среди погибших – заметно более старший (рис. 6). Указанное обстоятельство также может объясняться различными целевыми аудиториями, преимущественно использующими СИМ и велосипед, характером и целями поездок, а также физическим «запасом прочности» более молодой части населения.



Рисунок 6 – Долевое (%) распределение пострадавших в ДТП велосипедистов по возрастным группам (данные НЦ ГИБДД РФ)

Что касается времени совершения ДТП, то специфика аварийности велосипедистов в целом схожа с данными для СИМ [3].

Наибольшее количество (81 %) ДТП с пострадавшими велосипедистами произошло в светлое время суток. В это же время суток зафиксировано и большинство погибших (55 %) [3].

С участием СИМ также большинство (77 %) ДТП зарегистрировано в светлое время суток. Однако доля погибших в это же время суток значительно выше, чем среди велосипедистов (68 %) [3].

Тяжесть ДТП и для пользователей СИМ, и для велосипедистов в ночное времякратно выше, чем в дневное.

Результаты и обсуждение

Предложения по регулированию использования средств индивидуальной мобильности и велосипедов в России.

Структура аварийности среди велосипедистов не подвергается серьезным изменениям на протяжении достаточно продолжительного периода времени. В то же время показатели аварийности с участием СИМ демонстрируют динамику, причем в негативную сторону, что предопределено фиксируемым в последние годы активным развитием данного вида мобильности и отсутствием устоявшихся закономерностей. В этой связи представляется целесообразным сформулировать основные направления государственной политики в этой области. При этом должен быть осуществлен углубленный анализ причин и условий совершения ДТП

с участием СИМ и велосипедов, учитывающий пространственные и временные параметры аварийности, а также социальный портрет пользователей указанных видов транспорта. Как представляется, в ближайшей перспективе необходимо:

1. Разработать и утвердить порядок обращения СИМ на территории Российской Федерации, предусматривающий:

1.1. Классификацию СИМ по конструкции, техническим характеристикам, принципу движения, стабилизации и управления;

1.2. Порядок и условия ввоза на территорию Российской Федерации СИМ, произведенных за рубежом, включая требования по обязательному декларированию импортером технических характеристик ввозимых СИМ;

1.3. Требования к СИМ, изготавливаемым в Российской Федерации, включая требования по обязательному декларированию производителем технических характеристик изготавливаемых им СИМ;

1.4. Порядок проверки соответствия требований к СИМ для допуска на рынок, включая предъявление обязательных требований к конструкции СИМ, реализуемых на территории Российской Федерации;

1.5. Требования по обязательному маркированию СИМ, позволяющему провести его идентификацию;

1.6. Создание базы данных ввозимых и изготавливаемых СИМ с указанием технических характеристик и особенностей конструкции СИМ;

1.7. Порядок утилизации СИМ;

2. Разработать изменения в Правила дорожного движения Российской Федерации, предусматривающие:

- корректировку определения СИМ;

- дифференциацию порядка участия СИМ в дорожном движении в зависимости от класса СИМ;

3. Установить дифференцированную административную ответственность лиц, использующих СИМ, в зависимости от степени общественной опасности СИМ, определяемой его классом и условиями использования;

4. Разработать и реализовать предложения по повышению осведомленности населения о безопасности использования СИМ и велосипедов, в том числе с учетом возрастных критериев для соответствующих целевых аудиторий пользователей;

5. Среди предложений, реализация которых в контексте концепции «Мобильность как услуга» направлена на обеспечение безопасности дорожного движения и повышение пропускной способности улично-дорожной сети при использовании как СИМ, так и велосипедов, необходимо отметить целесообразность развития велосипедной инфраструктуры, а также потребность в совершенствовании правил использования указанной категорией участников дорожного движения территорий, не входящих в область правового регулирования Правил дорожного движения Российской Федерации (парковые, рекреационные и прочие зоны). Кроме того, нуждаются в совершенствовании положения регионального и муниципального законодательства в области организации краткосрочной аренды СИМ и велосипедов с целью формирования цивилизованного рынка услуг, обеспечивающего развитие городской мобильности не в ущерб интересам безопасности дорожного движения.

Выводы

Выводы по исследованию можно сформулировать следующим образом.

1. Транспортные технологии, основанные на концепции «Мобильность как услуга», развиваются в России весьма интенсивно. Активными пользователями средств индивидуальной мобильности (СИМ) в нашей стране являются (2022) около 12 млн. чел. или около 15 % населения страны в возрасте от 16 до 65 лет. Ежегодный прирост рынка аренды СИМ (кикшеринг) достигает +50 %. Годовые объемы продаж велосипедов в течение нескольких последних лет превышают 4 млн. ед. Ежегодно совершенствуется инфраструктура для использования СИМ и велосипедами.

2. Около 2/3 от всего количества проданных в пользование СИМ – имущество крупных компаний-операторов. Всего в России насчитывается 26 компаний-операторов кикшеринга СИМ федерального уровня, среди которых явными лидерами являются Юрент, Whoosh, Яндекс.Go. Все они активно работают в городах-миллионниках и большинстве городов с населением 500 тыс. чел. и более. Велосипеды в основном продаются в частное пользование и рынок аренды велосипедов крайне невелик.

3. К числу самых актуальных проблем функционирования сектора СИМ и велосипедов относятся вопросы обеспечения безопасности дорожного движения. Несмотря на текущую относительно малую долю, в сравнении с автомобильной аварийностью, ДТП с участием СИМ, надо отметить интенсивную динамику роста таких случаев. Особенно это касается случаев ДТП с участием СИМ, схожим по характеристикам с мопедом с электродвигателем.

4. В рамках статьи проведен анализ локализации характеристик дорожно-транспортной аварийности с участием пользователей СИМ и велосипедистов. Выявлена определенная специфика. Подготовлены предложения по совершенствованию нормативно-правового и нормативно-технического регулирования в рассматриваемой области.

5. Динамика развития концепции «Мобильность как услуга» в нашей стране превышает среднемировые темпы и это вызывает необходимость активного управления развитием данным сектором транспортной системы. Разумеется, для этого необходимо изучать как административный [4-9], так и экспериментальный российский [10, 11] и зарубежный опыт [12, 13]. В нашей стране также проводятся соответствующие исследования [14, 15] и уже получены некоторые результаты, осмысление которых позволит повысить безопасность эксплуатации СИМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кодачигов В. Продажи электросамокатов в России за год выросли втрое [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.vedomosti.ru/technology/articles/2021/06/23/875367-prodazhi-elektrosamokatov?ysclid=lfhspplg9376106871>.
2. Трушеринг – каршеринг, транспорт будущего [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://truesharing.ru/carsharing/>.
3. Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации за 2021 год. Информационно-аналитический обзор. - М.: ФКУ «НЦ БДД МВД России», 2022. - 126 с.
4. Верещака С.Б., Верещака А.В., Абрамова Л.А. Средства индивидуальной мобильности: проблемы правового регулирования участия в дорожном движении и административной ответственности // Право и практика. - 2020. - №4. - С. 75-78.
5. Ирошников Д.В. Правовые проблемы обеспечения безопасности личности на транспорте в условиях использования индивидуального электротранспорта // Правовое государство: теория и практика. - 2019. - №4(58). - С. 40-50.
6. Капустина Е.Г. Административно-правовой статус отдельных субъектов административно-правовых отношений в сфере безопасности дорожного движения // Закон и право. - 2020. - №2.
7. Мишина Ю.В. К вопросу об участии в дорожном движении пользователей средств индивидуальной мобильности // Правопорядок: история, теория, практика. - 2020. - № 1(24). - С. 44-46.
8. Копотилов А. Электросамокаты появятся в ПДД // Дороги России. - 2020. - №3(117). - С. 10-17.
9. Сагинова О.В., Сагинов Ю.Л. Мобильность в городе: перспективы и тенденции развития // Экономика: вчера, сегодня, завтра. - 2019. - Т. 9. - №2А. - С. 176-185.
10. Трегубов В.Н. Организация городского транспорта на основе концепции «мобильность как услуга» // International Journal of Open Information Technologies. - 2019. - Vol. 7. - №6. - P. 73-80.
11. Завьялов Д.В., Пищикова О.В., Сагинова О.В. Эволюция концепции городской мобильности // Экономика, предпринимательство и право. - 2020. - Т. 10. - №2. - С. 309-320.
12. Delfin Jiménez, Yolanda de la Fuente, Jesús Hernández-Galán. Diversity of «Pedestrians on Wheels», New Challenges for Cities in 21st Century // Studies in Health Technology and Informatics. - 2018. - Vol. 256: Transforming our World Through Design, Diversity and Education.
13. Jun Xua, ShiShang, Guizhen Yu, Hongsheng Qi, Yunpeng Wang, Shucui Xu. Are electric self-balancing scooters safe in vehicle crash accidents? // Accident Analysis & Prevention. - Vol. 87. - 2016.
14. Новиков А.Н., Новиков И.А., Шевцова А.Г. Современная оценка проблемы безопасности дорожного движения. - Белгород: БГТУ. - 2021. - 108 с.
15. Новиков А.Н., Новиков И.А., Шевцова А.Г. Математическое представление дорожно-транспортного происшествия как явления // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы конференции. – Орел: ОрелГУ. - 2019. - С. 209-214.

Митрошин Дмитрий Викторович

Научный центр безопасности дорожного движения МВД России
Адрес: 121170, Россия, г. Москва, ул. Поклонная, 17
Начальник, E-mail: mitroshin@gibdd.ru

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

D.V. MITROSHIN, A.I. PETROV

ON THE ISSUE OF IDENTIFICATION OF MODERN TRENDS OF CHANGING THE REGULATION OF THE USE OF PERSONAL MOBILITY DEVICES AND BICYCLES IN RUSSIA

Abstract. The article considers the statistics of growth and qualitative transformation of the personal mobility equipment (PMQ) sector that are relevant for Russia. A structural analysis of the PMQ kicksharing market (2023) was carried out. The current data on the dynamics of growth and the specifics of accidents using PMQ are presented. Proposals for regulating the use of personal mobility equipment and bicycles in Russia are presented.

Keywords: the concept of «Mobility as a Service», personal mobility equipment (PMQ), statistics, sales and use (personal and rental), kicksharing, road traffic accidents involving PMQ and bicycles, specifics of accidents

BIBLIOGRAPHY

1. Kodachigov V. Prodazhi elektrosamokatov v Rossii za god vyrosli vtroe [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://www.vedomosti.ru/technology/articles/2021/06/23/875367-prodazhi-elektrosamokatov?ysclid=lfhsppflg9376106871>.
2. Trushering - karshering, transport budushchego [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <https://trushering.ru/carsharing/>.
3. Dorozhno-transportnaya avariynost' v Rossiyskoy Federatsii za 2021 god. Informatsionno-analiticheskiy obzor. - M.: FKU «NTS BDD MVD Rossii», 2022. - 126 s.
4. Vereshchak S.B., Vereshchak A.V., Abramova L.A. Sredstva individual'noy mobil'nosti: problemy pravovogo regulirovaniya uchastiya v dorozhnom dvizhenii i administrativnoy otvetstvennosti // Pravo i praktika. - 2020. - №4. - S. 75-78.
5. Iroshnikov D.V. Pravovye problemy obespecheniya bezopasnosti lichnosti na transporte v usloviyakh ispol'zovaniya individual'nogo elektrotransporta // Pravovoe gosudarstvo: teoriya i praktika. - 2019. - №4(58). - S. 40-50.
6. Kapustina E.G. Administrativno-pravovoy status otdel'nykh sub"ektov administrativno-pravovykh otnosheniy v sfere bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya // Zakon i pravo. - 2020. - №2.
7. Mishina Yu.V. K voprosu ob uchastii v dorozhnom dvizhenii pol'zovateley sredstv individual'noy mobil'nosti // Pravoporyadok: istoriya, teoriya, praktika. - 2020. - № 1(24). - S. 44-46.
8. Kopotilov A. Elektrosamokaty poyavyatsya v PDD // Dorogi Rossii. - 2020. - №3(117). - S. 10-17.
9. Saginova O.V., Saginov Yu.L. Mobil'nost' v gorode: perspektivy i tendentsii razvitiya // Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra. - 2019. - T. 9. - №2A. - S. 176-185.
10. Tregubov V.N. Organizatsiya gorodskogo transporta na osnove kontseptsii «mobil'nost' kak uslugu» // International Journal of Open Information Technologies. - 2019. - Vol. 7. - №6. - P. 73-80.
11. Zav'yalov D.V. Pishchikova O.V., Saginova O.V. Evolyutsiya kontseptsii gorodskoy mobil'nosti // Ekonomika, predprinimatel'stvo i pravo. - 2020. - T. 10. - №2. - S. 309-320.
12. Delfn Jimnez, Yolanda de la Fuente, Jess Hern?ndez-Gal?n. Diversity of «Pedestrians on Wheels», New Challenges for Cities in 21st Century // Studies in Health Technology and Informatics. - 2018. - Vol. 256: Transforming our World Through Design, Diversity and Education.
13. Jun Xua, ShiShang, Guizhen Yu, Hongsheng Qi, Yunpeng Wang, Shucai Xu. Are electric self-balancing scooters safe in vehicle crash accidents? // Accident Analysis & Prevention. - Vol. 87. - 2016.
14. Novikov A.N., Novikov I.A., Shevtsova A.G. Sovremennaya otsenka problemy bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya. - Belgorod: BGTU. - 2021. - 108 s.
15. Novikov A.N., Novikov I.A., Shevtsova A.G. Matematicheskoe predstavlenie dorozhno-transportnogo proisshestviya kak yavleniya // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: Materialy konferentsii. - Orel: OrelGU. - 2019. - S. 209-214.

Mitroshin Dmitry Viktorovich

Scientific Center of Road Safety of the Ministry of Interior of the Russian Federation

Address: 121170, Russia, Moscow, Poklonnaya str. 17

Head

Email: mitroshin@gibdd.ru

Petrov Artur Igorevich

Tyumen Industrial University

Address: 625027, Russia, Tyumen, Mel'nikayte str., 72

Candidate of technical sciences

E-mail: ArtIgPetrov@yandex.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

$$q_1 = (\alpha - 1)^2 (1 + \frac{1}{2\alpha}) / d, \quad (1)$$

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 30.11.2023 г.
Дата выхода в свет 26.12.2023 г.
Формат 70x108/16. Усл. печ. л. 9,1
Цена свободная. Тираж 500 экз.
Заказ № 278

Отпечатано с готового оригинал-макета
на полиграфической базе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95