

ISSN 2073-7432

МИР ТРАНСПОРТА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 3-1 (86) 2024

Научно-технический
журнал

Издается с 2003 года

Выходит четыре раза в год

№ 3-1(86) 2024

Мир транспорта и технологических машин

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

<p>Главный редактор: 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>Редакция: Агеев Е.В. д-р техн. наук, проф. (Россия) Агуреев И.Е. д-р техн. наук, проф. (Россия) Басков В.Н. д-р техн. наук, проф. (Россия) Власов В.М. д-р техн. наук, проф. (Россия) Глаголев С.Н. д-р техн. наук, проф. (Россия) Демич М. д-р техн. наук, проф. (Сербия) Денисов А.С. д-р техн. наук, проф. (Россия) Евтюков С.А. д-р техн. наук, проф. (Россия) Жаковская Л. д-р. наук, проф. (Польша) Жанказиев С.В. д-р техн. наук, проф. (Россия) Захаров Н.С. д-р техн. наук, проф. (Россия) Зырянов В.В. д-р техн. наук, проф. (Россия) Маткеримов Т.Ы. д-р техн. наук, проф. (Кыргызстан) Прентковский О. д-р техн. наук, проф. (Литва) Пржибыл П. д-р техн. наук, проф. (Чехия) Пугачев И.Н. д-р техн. наук, доц. (Россия) Пушкарев А.Е. д-р техн. наук, проф. (Россия) Рассоха В.И. д-р техн. наук, проф. (Россия) Ременцов А.Н. д-р пед. наук, проф. (Россия) Ризаева Ю.Н. д-р техн. наук, доц. (Россия) Сарбаев В.И. д-р техн. наук, профессор (Россия) Трофименко Ю.В. д-р техн. наук, проф. (Россия) Трофимова Л.С. д-р техн. наук, доц. (Россия) Шарата А. д-р. наук, проф. (Польша)</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/mtitm E-mail: srmostu@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.pressa-rg.ru и www.akc.ru</p> <p>© Составление. ОГУ имени И.С. Тургенева, 2024</p>	<h2>Содержание</h2> <p><i>Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте</i></p> <p><i>И.Н. Пугачев, Н.Г. Шешера, Д.Е. Григоров Прогноз травматизма при ДТП с использованием линейного графика и метода машинного обучения..... 3</i></p> <p><i>Управление процессами перевозок</i></p> <p><i>А.В. Куликов, А.П. Тюков, Д.Е. Еркин, А.А. Куликов Обеспечение мультимодальности в туристических маршрутах на примере Волгоградской области..... 12</i></p> <p><i>А.М. Насыбуллин Оценка влияния факторов на назначение попутных остановок контейнерным поездам, курсирующим по технологии постоянного формирования..... 23</i></p> <p><i>В.П. Белокуров, Е.А. Панявина, Э.Н. Бусарин, Р.А. Кораблев Экономико-математические модели рационального развития городских пассажирских перевозок..... 35</i></p> <p><i>Эксплуатация автомобильного транспорта</i></p> <p><i>А.С. Денисов, Е.В. Феклин Методология повышения эффективности технического сервиса городских автобусов..... 42</i></p> <p><i>Н.В. Подопригора, М.С. Присяжнюк Методы повышения надежности городских автобусов..... 51</i></p> <p><i>А.А. Зернов, Д.Г. Блинов, С.А. Гусев Модификаторы трения в смазочных материалах – эффективный инструмент повышения энергоэффективности ДВС..... 58</i></p> <p><i>А.С. Семькина, Н.А. Загородний, Д.Ф. Коверженко Определение рационального периода эксплуатации карьерных транспортных средств и оценка эффективности их использования..... 67</i></p> <p><i>Л.Е. Куценко, А.С. Камбур, С.В. Куценко Повышение безопасности дорожного движения на регулируемых пешеходных переходах..... 75</i></p> <p><i>О.П. Кокарев, А.Г. Кириллов Реализация ресурса элементов тормозной системы в эксплуатации..... 83</i></p> <p><i>Интеллектуальные транспортные системы</i></p> <p><i>О.О. Пилипец Анализ применения интеллектуальных транспортных систем в современных условиях: этапы реализации и проблемные вопросы..... 91</i></p> <p><i>Д.В. Капский, С.А. Ляпин, С.В. Богданович Влияние беспилотных транспортных средств и смежных технологий на социоприродоэкономическую среду города А.Г. Шевцова, А.Г. Локтионова, С.А. Гузенко, В.В. Васильева Использование технических характеристик транспортных средств для расширения функциональных возможностей интеллектуальной транспортной системы..... 101</i></p> <p><i>А.В. Домбала, Е.Е. Шаталова, Н.С. Негров Кооперативные интеллектуальные транспортные системы: связь между транспортным средством и инфраструктурой..... 108</i></p> <p><i>Т.Н. Замота, О.Н. Замота, Е.В. Турушина Методика расчета экономической эффективности эксплуатации автомобиля при внедрении интеллектуальной системы ТО и Р..... 116</i></p> <p><i>Логистические транспортные системы</i></p> <p><i>Д.Б. Ефименко, В.А. Демин, Д.А. Комкова, В.Д. Герами Использование мультиагентного подхода при организации поставок в торговые сети..... 131</i></p> <p><i>С.Н. Глазюков, И.А. Новиков, Ю.Н. Ризаева, А.С. Лукинов Модель гибкого управления транспортом общего пользования..... 138</i></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

№ 3-1(86) 2024

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

Editor-in-Chief A.N. Novikov Doc.Eng., Prof	Contents
Associates Editor V.V. Vasileva Can. Eng. S.A. Rodimzev Doc. Eng.	<i>Transport and transport-technological systems of the country, its regions and cities, organization of production in transport</i>
Editorial Board: E.V. Ageev Doc. Eng., Prof. (Russia) I.E. Agureev Doc. Eng., Prof. (Russia) V.N. Baskov Doc. Eng., Prof. (Russia) V.M. Vlasov Doc. Eng., Prof. (Russia) S.N. Glagolev Doc. Eng., Prof. (Russia) M. Demic Doc. Eng., Prof. (Serbia) A.S. Denisov Doc. Eng., Prof. (Russia) S.A. Evtyukov Doc. Eng., Prof. (Russia) L. Żakowska Ph.D., Doc. Sc., Prof. (Poland) S.V. Zhankaziev Doc. Eng., Prof. (Russia) N.S. Zaharov Doc. Eng., Prof. (Russia) V.V. Zyryanov Doc. Eng., Prof. (Russia) T.Y. Matkerimov Doc. Eng., Prof. (Kyrgyzstan) O. Prentkovskis Doc. Eng., Prof. (Lithuania) P. Pribyl Doc. Eng., Prof. (Czech Republic) I.N. Pugachev Doc. Eng. (Russia) A.E. Pushkarev Doc. Eng., Prof. (Russia) V.I. Rassoha Doc. Eng., Prof. (Russia) A.N. Rementsov Doc. Edc., Prof. (Russia) Yu.N. Rizaeva Doc. Eng. (Russia) V.I. Sarbaev Doc. Eng., Prof. (Russia) Yu.V. Trofimenko Doc. Eng., Prof. (Russia) L.S. Trofimova Doc. Eng. (Russia) A. Szarata Ph.D., Doc. Sc., Prof. (Poland)	<i>I.N. Pugachev, N.G. Sheshera, D.E. Grigorov Prediction of injuries in road accidents using line graph and machine learning method..... 3</i>
Person in charge for publication: I.V. Akimochkina	<i>Management of transportation processes</i>
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	<i>A.V. Kulikov, A.P. Tyukov, D.E. Erkin, A.A. Kulikov Ensuring multimodality in the tourist routes of the volgograd region..... 12</i> <i>A.M. Nasybullin Assessment of the impact of factors on the allocation of points for container trains operating according to technology of fixed formations..... 23</i> <i>V.P. Belokurov, E.A. Panyavina, E.N. Busarin, R.A. Korablyov Economic and mathematical models of rational development of urban passenger transportation..... 35</i>
The journal is registered in Federal Agency of supervision in sphere of communication, information technology and mass communications. Registration Certificate ПИ № ФЦ77-67027 of August 30 2016	<i>Operation of motor transport</i>
Subscription index: 16376 in a union catalog «The Press of Russia» on sites www.pressa-rf.ru and www.akc.ru	<i>A.S. Denisov, E.V. Feklin Methodology of increase of efficiency of technical service of city buses..... 42</i> <i>N.V. Podoprigrora, M.S. Prysyzhnyuk Methods to improve the reliability of city buses.. 51</i> <i>A.A. Zernov, D.G. Blinov, S.A. Gusev Friction modifiers in lubricants - an effective tool for improving the energy efficiency of internal combustion engines..... 58</i> <i>A.S. Semykina, N.A. Zagorodny, D.F. Koverzhenko Determination of the rational period of operation of quarry vehicles and assessment of the effectiveness of their use..... 67</i> <i>L.E. Kushchenko, A.S. Kambur, S.V. Kuschenko Increasing road safety at uncontrolled pedestrian crossings..... 75</i> <i>O.P. Kokarev, A.G. Kirillov The realization of the resource of the elements of the braking system in operation..... 83</i>
© Registration. Orel State University, 2024	<i>Intelligent transport systems</i>
	<i>O.O. Pilipets Analysis of the use of intelligent transportation systems in modern conditions: stages of implementation and problematic issues..... 91</i> <i>D.V. Kapski, S.A. Lyapin, S.V. Bogdanovich The impact of driverless vehicles and related technologies on the socio-natural and economic environment of the city..... 101</i> <i>A.G. Shevtsova, A.G. Loktionova, S.A. Guzenko, V.V. Vasilyeva Using the technical characteristics of vehicles to expand the functionality of an intelligent transport system..... 108</i> <i>A.V. Dombalyan, E.E. Shatalova, N.S. Negrov Cooperative intelligent transport systems: the connection between the vehicle and the infrastructure..... 116</i> <i>T.N. Zamota, O.N. Zamota, E.V. Turushina The methodology for calculating the economic efficiency of car operation when implementing an intelligent maintenance and repair system..... 123</i>
	<i>Logistic transport systems</i>
	<i>D.B. Efimenko, V.A. Demin, D.A. Komkova, V.D. Gerami The use of a multi-agent approach in the organization of supplies to retail..... 131</i> <i>S.N. Glagolev, I.A. Novikov, Yu.N. Rizaeva, A.S. Lukinov The model of adaptable transit control..... 138</i>

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

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

Научная статья

УДК 004.8:004.6

doi:10.33979/2073-7432-2024-3-1(86)-3-11

И.Н. ПУГАЧЕВ, Н.Г. ШЕШЕРА, Д.Е. ГРИГОРОВ

ПРОГНОЗ ТРАВМАТИЗМА ПРИ ДТП С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛИНЕЙНОГО ГРАФИКА И МЕТОДА МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Аннотация. На дорогах России из года в год происходит большое количество дорожно-транспортных происшествий (ДТП), в которых получают ранения более 100 тыс. человек, а погибают свыше 10 тыс. Обострившаяся проблема вынуждает исследовать закономерности возникновения аварийных ситуаций.

В статье предлагается комплексный подход по выявлению аварийно-опасных участков с высоким риском травматизма. Исследование включает анализ зависимостей всех элементов системы Водитель-Автомобиль-Дорога-Среда (ВАДС). Используется регрессионный анализ и аналитические библиотеки машинного обучения – Метода случайных деревьев на языке программирования Python.

Ключевые слова: травматизм, метод машинного обучения – Случайные деревья, анализ данных, характеристическая кривая, прогнозирование, корреляционный анализ

Введение

Событие – ДТП не случайное, сопровождается определенным набором характеристик улично-дорожной сети (УДС) [1]. Водитель является конечным элементом системы ВАДС и обладает определенным психофизическим потенциалом, который позволяет ему в определенной степени взаимодействовать со средой, дорогой и автомобилем [2]. Исследования профессора В.Ф. Бабкова объясняют влияние сопутствующих транспортных, дорожных и природных характеристик на человека через его возможности или особенности восприятия окружающей обстановки [3]. Тем не менее, существуют негативные комбинации факторов системы ВАДС, при одновременном влиянии которых среднестатистический водитель не сможет обеспечить безопасность управления своим транспортным средством в виду, например, большого количества раздражающих факторов и повышенной скорости движения, информационный перегруз будет отвлекать внимание от опасных элементов, а высокий скоростной режим не оставит возможности для остановки или безопасного маневра.

Для определения причин возникновения ДТП с травматизмом необходимо исследовать каждый его случай. Описать окружающую обстановку, после чего провести сравнение ДТП с пострадавшими и без. В 60-х годах профессором В.Ф. Бабковым была разработана «Методика коэффициентов аварийности» благодаря которой обобщив дорожно-транспортные характеристики каждого частного случая ДТП появилась возможность прогнозировать аварийность с использованием коэффициентов. Основываясь на трудах автора, его объяснения причин и следствий взаимодействия подсистем системы ВАДС было решено продолжить исследования в этом направлении для определения травматизма при ДТП методом регрессионного анализа и машинного обучения с целью обобщения характеристик, определения их зависимостей и построения модели.

Цель статьи – совершенствование подходов по прогнозу травматизма при ДТП.

Материал и методы

Исследования проходили на УДС города Хабаровска, Россия [4].

С целью сбора статистических данных было обследовано более 400 км. дорог. Исследования характеристик УДС происходили на месте ДТП, для этого был заранее подготовлен та-

булированный шаблон. Анализировались такие показатели как: интенсивность, количество полос, ширина дороги, обочины, уклоны (продольный, поперечный), радиус кривой и т.д.

Данные были сгруппированы в установленных интервалах и бинаризованы по принципу: 1 – если фактор присутствовал и 0 – если отсутствовал. Это необходимо для регрессионного анализа в программе Statistica [5, 6].

Теория и расчет

С использованием корреляционного анализа, а также критерия Пирсона были отобраны признаки не превышающие коэффициент корреляции 0,7 и вероятность ошибки по критерию Пирсона 0,05.

В программе Statistica 6.0 в результате экспериментальных исследований была разработана прогностическая шкала, методом подбора переменных подобрана наилучшая прогностическая модель которая состоит из 9 факторов УДС: 2 полосы движения, ширина пр. части 18-18,9 м., наличие обочины шириной 3 м, ограничение видимости в плане ≥ 200 м, покрытие шероховатое (новое), коэффициент сцепления 0,75, наличие тротуара шириной ≥ 4 м, средняя скорость движения 60 км/ч, пешеходный переход, радиус кривых в плане 200-349,9м.

Каждый фактор характеризуется коэффициентом (коэффициент тяжести Кт1, Кт2...Кт9) [8].

Модель формировалась на основе логистической регрессии, формула которой имеет следующий вид:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_i X_i, \quad (1)$$

где Y – зависимый признак;

X_1, X_2, \dots, X_9 – независимые признаки;

b_1, b_2, \dots, b_i – коэффициенты;

b_0 – константа.

С учетом логического преобразования итоговый коэффициент травматизма будет рассчитываться по формуле:

$$K_{тИТОГ} = K_{т1} + K_{т2} + K_{т3} + \dots + K_{т9}, \quad (2)$$

где $K_{т1}$ – 2 полосы движения (-0,34556);

$K_{т2}$ – Ширина пр. части до 18-18 м. (1,44674);

$K_{т3}$ – Наличие обочины шириной 3 м (2,9149);

$K_{т4}$ – Ограничение видимости в плане $200 \leq$ м. (1,312754);

$K_{т5}$ – Покрытие шероховатое (новое), Коэффициент сцепления 0,75 (0,937902);

$K_{т6}$ – Наличие тротуара шириной ≤ 4 м (1,262661);

$K_{т7}$ – Средняя скорость движения 60 км/ч (-0,04846);

$K_{т8}$ – Пешеходный переход (1,59205);

$K_{т9}$ – Радиус кривых в плане 200-349,9м (2,09848).

Качество модели было подтверждено характеристической кривой ROC (рис. 1) [7]. Площадь под кривой составила 0,82, что подтверждает высокое качество прогностической шкалы [8, 9].

Исследование чувствительности и специфичности позволили разработать пороговое значение, превышение которого увеличивает риск травматизма при ДТП до 70%, оно составило 2,09.

Результаты и обсуждение

Полученные результаты были апробированы на аварийно-опасном участке г. Хабаровска ул. Суворова, от ул. Павла Морозова до ул. Малиновского. Аналогично Методике коэффициентов аварийности профессора В.Ф. Бабкова анализ подразумевает расчет травматизма при ДТП с использованием линейного графика и выведенной формулы (2) (рис. 2).

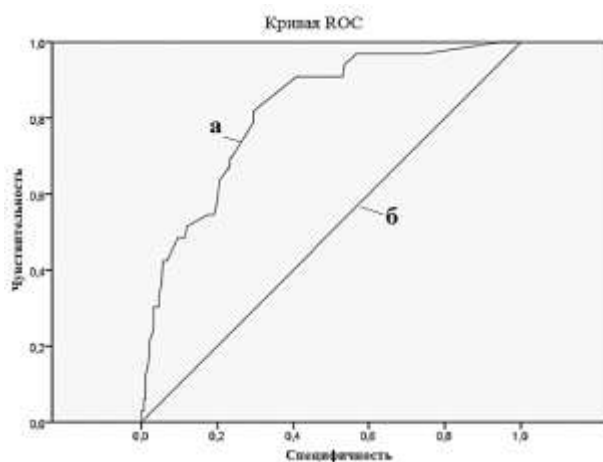


Рисунок 1 – Характеристическая кривая: а – ROC кривая (характеристическая кривая); б – нулевая гипотеза



Рисунок 2 – Линейный график коэффициентов травматизма ул. Суворова от ул. Павла Морозова до ул. Малиновского

Несмотря на работоспособность прогностической шкалы созданной с использованием логистической регрессии большое количество признаков не оказались существенными [10]. Однако, профессор В.Ф. Бабков при исследовании психофизических свойств водителя считал закономерным проявление всех характеристик в разной степени. Более того, он говорил о необходимости дополнительных исследований, новых на уровне со старыми с учетом изменяющейся транспортной обстановки.

Сложная задача исследования степени влияния различных комбинаций подсистем ВАДС решена с использованием машинного обучения – Метода случайных деревьев [11].

С целью повышения репрезентативности данных большая часть из них была собрана программно-аппаратными комплексами. Например, интенсивность транспортного потока сформирована с использованием системы регистрации, учета и анализа транспортного потока ИНТЕГРО КДД, данные о ДТП были взяты с открытых порталов ГИБДД РФ (<http://stat.gibdd.ru/>), геометрические элементы дорог измерялись натурно или с использованием современных геоинформационных систем и т.д. Дополнительно, к рассматриваемым признакам была добавлена информация о погодных-климатических условиях предоставленная Хабаровский центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с функциями регионального специализированного метеорологического центра Всемирной службы погоды (станция Хабаровск №4853511).

При сборе данных особое внимание уделялось недооцененному показателю – скорости. В первой части исследования учитывалась только установленная органами государственной власти и местного самоуправления максимальная разрешенная скорость на территории г. Хабаровска [12]. Далее, было решено собрать данные о максимальной обеспечиваемой скорости на участках совершения ДТП в соответствующий временной период. Для этого использовался GPS – трекер, который регистрировал данные при перемещении его на автомобиле по исследуемым участкам дорог в течение 2 лет.

Собранный объем данных насчитывал свыше 75 тыс. ДТП, совершенных на территории г. Хабаровска (с 2016 г. по 2021 г.), они включали признаки, которые гипотетически оказывают влияние на травматизм или второстепенны, но необходимы для подготовки данных.

Ансамбль случайных деревьев использует несколько деревьев, что помогает снизить вероятность переобучения модели. Каждое дерево обучается независимо и делает прогнозы, после чего результаты объединяются для получения итоговой вероятности. Это позволяет повысить обобщающую способность модели, снизить влияние выбросов и шума в данных. Благодаря комбинированию прогнозов от нескольких деревьев, ансамбль случайных деревьев может достичь высокой точности прогноза.

Проект машинного обучения использует библиотеку Scikit-Learn (также известную как sklearn) для языка программирования Python. Она предоставляет широкий спектр инструментов для разработки и применения моделей машинного обучения, включая классификацию, регрессию, кластеризацию, предварительную обработку данных и выбор моделей [13]. Имеет простой и однородный интерфейс API, который облегчает использование и комбинирование различных алгоритмов и методов.

Изучив особенности обработки данных метода Scikit-Learn генеральная совокупность была очищена и преобразована в числовой формат.

Весь проект реализован в среде разработки PyCharm. Создано виртуальное окружение с целью модульного разделения операций по чтению данных с файлов, обучению и прогнозированию. С кодами модулей проекта можно ознакомиться по адресу: <https://github.com/glowfish8lan/3691308f2a4c2f6983f2880d32e29c84.git>.

Для чистоты эксперимента были исключены ДТП с водителями, находящимися в состоянии опьянения. Психофизический аппарат данных водителей не корректно реагирует на внешние раздражители и являются аномальными, требующими исключения [14].

В первом подходе по анализу травматизма при ДТП рассматривались две зависимые

переменные (0 – не пострадали и 1 – пострадали), во втором же уже три (0 – не пострадали, 1 – пострадали, 2 – погибли).

Очищенные данные разделены на тренировочные и тестовые образцы для обучения. Размер тестового набора определен 20% от общего количества данных.

Создан объект класса RandomForestClassifier (классификатор случайного леса), благодаря которому обучена модель на обучающем наборе данных, затем выполнен прогноз вероятностей для тестового набора [15].

Путем экспериментального подбора данных ориентируясь на значения коэффициента детерминации (r^2) и ассигасу подобрана лучшая прогностическая модель (Ассигасу = 97.99, $r^2 = 0.8212487585413919$) [15]. Несущественные признаки были исключены. Оставшиеся показатели в различной степени влияют на травматизм при ДТП, об этом свидетельствует матрица корреляции (рис. 3).

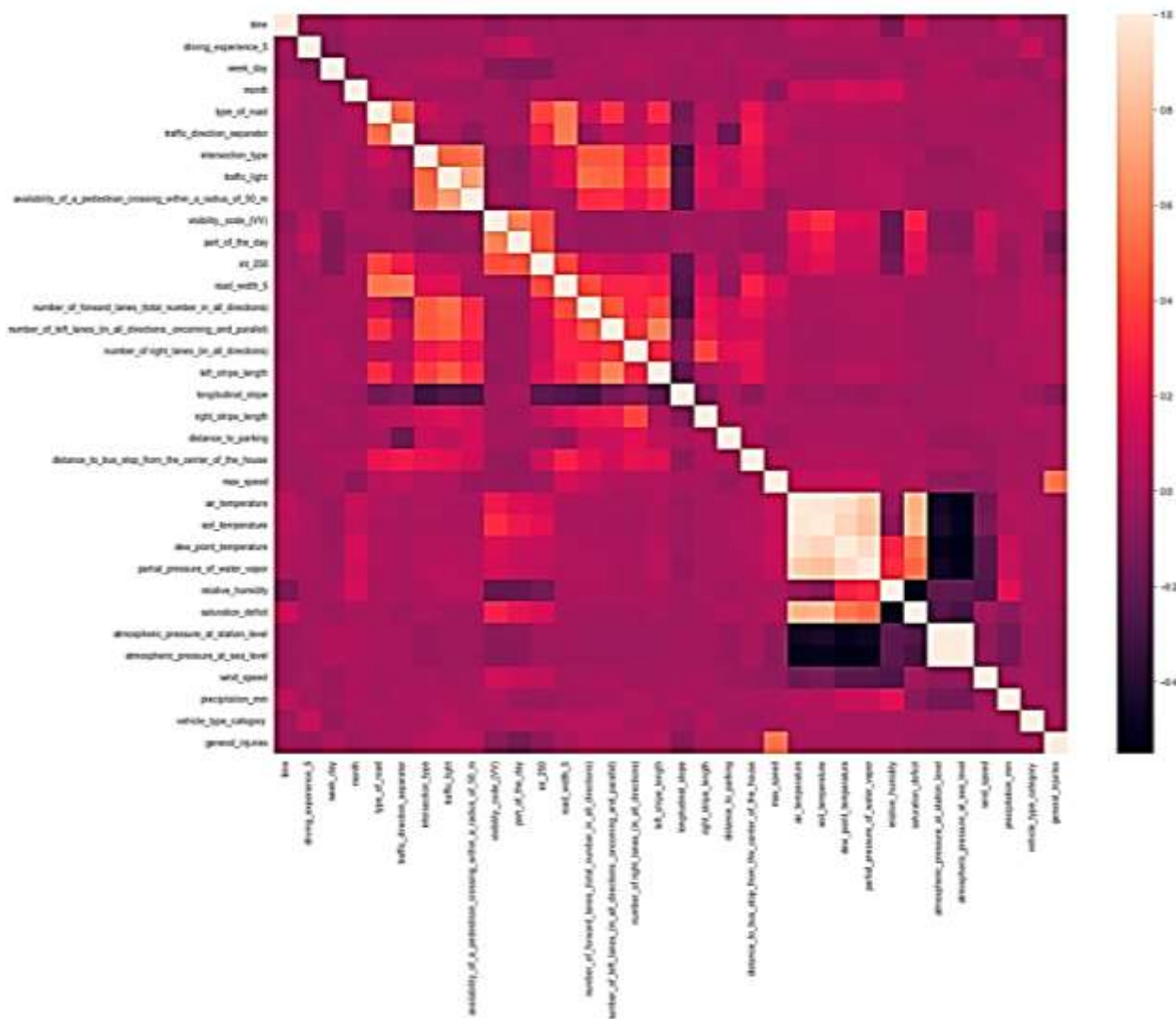


Рисунок 3 – Корреляционная матрица влияния признаков

По результату можно сделать вывод о сильном влиянии показателя максимальной обеспечиваемой скорости движения. Но это не значит, что остальные признаки не эффективны, наоборот, вместе они создают комплексное влияние на травматизм при ДТП [16].

С целью дополнительной проверки точности была построена матрица количества правильно- и ошибочно- угаданных классов (рис. 4).

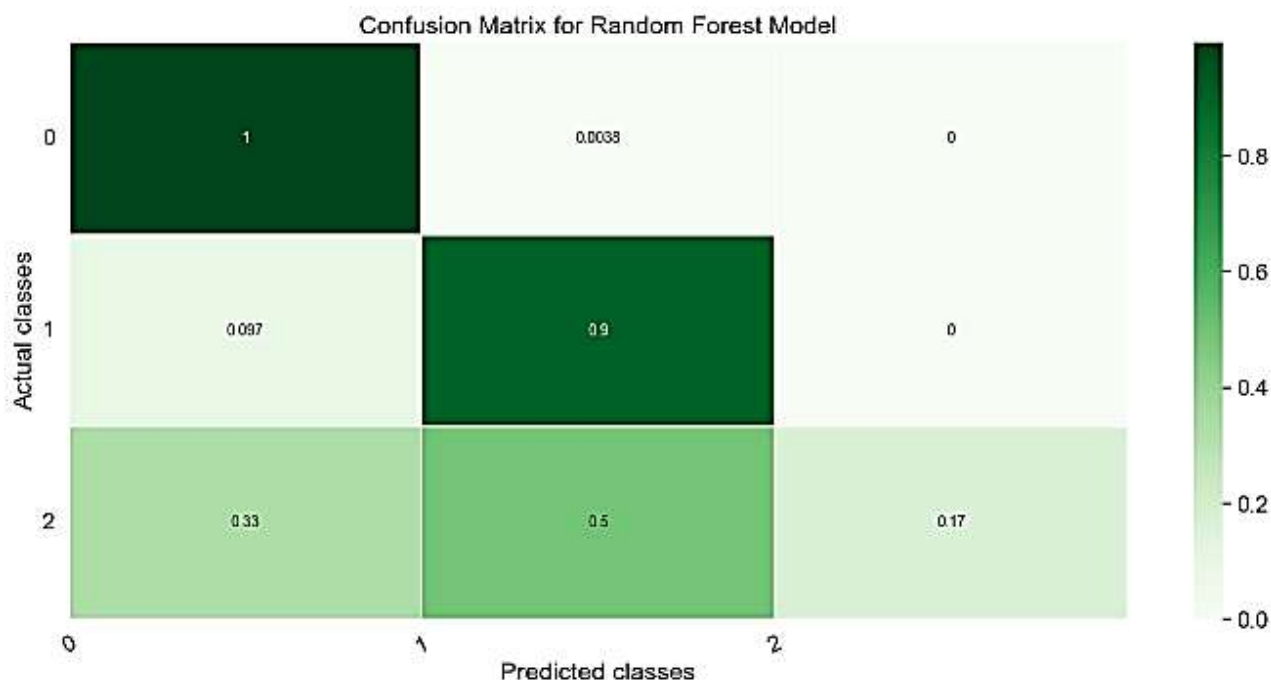


Рисунок 4 – Матрица ошибок

Матрица неточностей представляет собой квадратную матрицу, где каждый элемент (i, j) количество объектов, которые на самом деле принадлежат классу i , но были предсказаны как класс j . Таким образом, матрица неточностей дает информацию о верно классифицированных и ошибочно классифицированных объектах для каждого класса [17].

Как видно из рисунка 4 модель допускает ошибки, но они незначительны для определения двух значений травматизма: 0 – не пострадали, 1 – пострадали. Прогнозы третьего значения (2 – погибли) не точны и требуют дополнительного исследования.

После обучения, для контрольной проверки качества модели был проведен дополнительный тестовый прогноз. Из генеральной совокупности отобраны 27 случаев ДТП с необходимой информацией о них, которые не участвовали в обучении. Подготовлены зависимости, данные подвергались первоначальной обработке для исключения ошибок.

После предварительной обработки из 27 ДТП осталось 20, остальные исключали необходимую информацию. Результаты прогноза сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты прогноза травматизма ДТП

№	Реальные значения	Прогноз	№	Реальные значения	Прогноз
1	1	1	11	0	0
2	0	0	12	1	1
3	0	0	13	0	0
4	0	0	14	0	0
5	0	0	15	1	1
6	1	1	16	2	1
7	1	1	17	2	2
8	0	0	18	0	0
9	0	0	19	0	0
10	1	1	20	1	1

Как видно из таблицы 1 модель из 20 случаев точно спрогнозировала 19, что говорит о высоком качестве модели.

Выводы

На основе Методики коэффициентов аварийности профессора В.Ф. Бабкова разработан принципиально новый подход, который был апробирован на аварийно-опасном участке г. Хабаровска, в результате чего продемонстрирована высокая точность сходимости реаль-

ной обстановки травматизма при ДТП с прогнозом (рис. 2). Достоверность прогностической шкалы составила 70 %.

Для повышения точности прогноза были проведены дополнительные исследования, включены новые параметры с учетом логического обоснования и экспериментального наблюдения. Так, например, максимальная разрешенная скорость была заменена на максимальную обеспечиваемую. Интенсивность транспортных потоков пополнялась не путем контрольного замера с последующим приведением, а обрабатывались фактические данные с программно-аппаратных комплексов. Было увеличено количество классов зависимого признака – травматизма. В первом исследовании он включал: 0 – нет пострадавших и 1 – с пострадавшими, во втором уже три: 0 – нет пострадавших, 1 – с пострадавшими и 2 – с погибшими.

Второе исследование дает гораздо лучший результат чем первое, однако это не значит, что его необходимо полностью исключить. Два подхода имеют принципиально разные методики применения. В первом достаточно иметь на руках бумагу и листок, что облегчает задачи по оценке безопасности дорожного движения в полевых условиях. Второму необходима вычислительная техника, но данное ограничение нивелируется высокой точностью и большей детализацией.

Выполненная работа решает большое количество задач по проектированию, строительству и эксплуатации транспортных сооружений повышая безопасность дорожного движения, для решения которых создан алгоритмический инструментарий, основанный на полученных теоретических результатах и программных прототипах их основных компонентов, методов и алгоритмов аналитики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Золина А.О., Харченко О.А. Статистика и проблемы безопасности на автомобильном транспорте / отв. ред. С.А. Эртман // Логистический аудит транспорта и цепей поставок: материалы III международной научно-практической конференции. Тюмень. 2020. С. 91-93.
2. Ежегодно в автомобильных авариях гибнет более миллиона человек: что может изменить печальную статистику? [Электронный ресурс]. URL: <https://rg.ru/2023/11/18/ezhegodno-v-avtomobilnyh-avariiah-gibnet-bolee-milliona-chelovek-cto-mozhet-izmenit-pechalnuiu-statistiku.html>.
3. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения. М.: Транспорт, 1993. 271 с.
4. Пугачев И.Н., Евтюков С.С., Шешера Н.Г., Григоров Д.Е. Прогноз интенсивности транспортного потока. Обучение с учителем. Метод случайных деревьев // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2024. Том 18. №4. С. 36-47.
5. Крамаренко Б.А., Болдин А.П. Возможности статистического прогнозирования изменения общих и частных показателей безопасности дорожного движения при технической эксплуатации транспортных средств на основе использования программы Statistica-10-12 // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2021. №3(66). С. 3-12.
6. Печатнова Е.В., Кузнецов В.Н. Факторы возникновения дорожно-транспортных происшествий с особо тяжкими последствиями // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2022. Т. 19. №2(84). С. 224-235.
7. Aldhari I., Almoshaogeh M., Jamal A., Alharbi F., Alinizzi M., Haider H. Severity prediction of highway crashes in Saudi Arabia using machine learning techniques. Applied Sciences (Switzerland). 2023. Т. 13. №1. 233 с.
8. Pugachev I., Kulikov Y., Markelov G., Sheshera N. Factor Analysis of Traffic Organization and Safety Systems // Organization and Traffic Safety Management in large cities: 12th International Conference SPbOTSIC-2016. St. Petersburg. 2017. P. 529-535.
9. Руденко Н.В., Характеристики дорожного движения по автомобильным дорогам и методы оценки безопасности дорожного движения // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. 2022. Т. 7. №3-3 (25). С. 100-106.
10. Батищева О.М., Ганичев А.И., Старикова А.Г. Факторы, влияющие на обеспечение безопасности дорожного движения в крупных городах // Вестник транспорта Поволжья. 2023. №2(98). С. 110-115.
11. Сайдуллозода С.С., Мамбеталин К.Т., Умирзоков А.М., Маллабоев У.М. Оценка надежности системы Водитель - Автомобиль - Дорога - Среда (ВАДС) в горных условиях // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. 2020. Т. 20. №1. С. 38-46.
12. Рябов А.Н., Казначеев Д.Г. GPS Спидометр // Лучшая научно-исследовательская работа 2022: сборник статей XXXIV Международного научно-исследовательского конкурса. Пенза, 2022. С. 19-24.
13. Бакланова К.В. Влияние параметров транспортного потока и характеристик дорог на безопасность дорожного движения // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2023. № 2. С. 99-110.

14. Мосин К.К., Ковалевский В.Э., Жукова Н.А. Использование методов автоматизированного машинного обучения для классификации дорожно-транспортных происшествий // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2023. №2(34). С. 15-26.

15. Конончук Э.В., Ермоленко Т.В., Шишунов Т.О. Модели машинного обучения для оценки вероятности появления ДТП и его серьезности // Проблемы искусственного интеллекта. 2022. №1(24). С. 4-12.

16. Арутюнян М.А. Разработка алгоритмического аппарата по обеспечению безопасности дорожного движения // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2023. Т. 11. №3(42). С. 9-10.

Пугачев Игорь Николаевич

Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук

Адрес: 680000, Россия, г. Хабаровск, ул. Дзержинского, 54

Д.т.н., доцент, заместитель директора по научной работе ХФИЦ ДВО РАН

E-mail: ipugachev64@mail.ru

Шешера Николай Геннадьевич

Дальневосточного юридического института МВД России имени И.В. Шилова

Адрес: 680000, Россия, г. Хабаровск, пер. Казарменный, 15

К.т.н., доцент кафедры информационного и технического обеспечения ОВД

E-mail: kolyaka239@mail.ru

Григорьев Денис Евгеньевич

Дальневосточного юридического института МВД России имени И.В. Шилова

Адрес: 680000, Россия, г. Хабаровск, пер. Казарменный, 15

Начальник кабинета специальных дисциплин кафедры информационного и технического обеспечения

ОВД

E-mail: glowfish8lan@gmail.com

I.N. PUGACHEV, N.G. SHESHERA, D.E. GRIGOROV

PREDICTION OF INJURIES IN ROAD ACCIDENTS USING LINE GRAPH AND MACHINE LEARNING METHOD

Abstract. On the roads of Russia, from year to year, a large number of road traffic accidents (RTAs) occur, in which more than 100 thousand people are injured and over 10 thousand are killed. The worsening problem forces us to study the patterns of emergency situations.

The article proposes an integrated approach to identifying emergency areas with a high risk of injury. The study includes an analysis of the dependencies of all elements of the Driver-Vehicle-Road-Environment (VADS) system. Regression analysis and machine learning analytical libraries are used - the Random Tree Method in the Python programming language.

Keywords: injuries, machine learning method – Random trees, data analysis, characteristic curve, forecasting, correlation analysis

BIBLIOGRAPHY

1. Zolina A.O., Harchenko O.A. Statistika i problemy bezopasnosti na avtomobil'nom transporte / otv. red. S.A. Ertman // Logisticheskii audit transporta i tsepy postavok: materialy III mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Tyumen'. 2020. S. 91-93.

2. Ezhegodno v avtomobil'nykh avariakh gibnet bolee milliona chelovek: chto mozhет izmenit' pechal'-nuyu statistiku? [Elektronnyy resurs]. URL: <https://rg.ru/2023/11/18/ezhegodno-v-avtomobilnyh-avariah-gibnet-bolee-milliona-chelovek-chto-mozhet-izmenit-pechalnuiu-statistiku.html>.

3. Babkov V.F. Dorozhnye usloviya i bezopasnost' dvizheniya. M.: Transport, 1993. 271 s.

4. Pugachev I.N., Evtyukov S.S., Sheshera N.G., Grigorov D.E. Prognoz intensivnosti transportnogo potoka. Obuchenie s uchitelem. Metod sluchaynykh derev'eva // T-Comm: Telekommunikatsii i transport. 2024. Tom 18. №4. S. 36-47.

5. Kramarenko B.A., Boldin A.P. Vozmozhnosti statisticheskogo prognozirovaniya izmeneniya obshchikh i chastnykh pokazateley bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya pri tekhnicheskoy ekspluatatsii transportnykh sredstv na osnove ispol'zovaniya programmy Statistica-10-12 // Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosu-

darstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI). 2021. №3(66). S. 3-12.

6. Pechatnova E.V., Kuznetsov V.N. Faktory vozniknoveniya dorozhno-transportnykh proisshestviy s osobo tyazhkimi posledstviyami // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta. 2022. T. 19. №2(84). S. 224-235.

7. Aldhari I., Almoshaogeh M., Jamal A., Alharbi F., Alinizzi M., Haider H. Severity prediction of highway crashes in Saudi Arabia using machine learning techniques. Applied Sciences (Switzerland). 2023. T. 13. №1. 233 s.

8. Pugachev I., Kulikov Y., Markelov G., Sheshera N. Factor Analysis of Traffic Organization and Safety Systems // Organization and Traffic Safety Management in large cities: 12th International Conference SPbOTSIC-2016. St. Petersburg. 2017. P. 529-535.

9. Rudenko N.V., Harakteristiki dorozhnogo dvizheniya po avtomobil'nyim dorogam i metody otsenki bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya // Mezhdunarodnyy zhurnal informatsionnykh tekhnologiy i energoeffektivnosti. 2022. T. 7. №3-3 (25). S. 100-106.

10. Batishcheva O.M., Ganichev A.I., Starikova A.G. Faktory, vliyayushchie na obespechenie bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v krupnykh gorodakh // Vestnik transporta Povolzh'ya. 2023. №2(98). S. 110-115.

11. Saydullozoda S.S., Mambetalin K.T., Umirzokov A.M., Mallaboev U.M. Otsenka nadezhnosti sistemy Voditel' - Avtomobil' - Doroga - Sreda (VADS) v gornykh usloviyakh // Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Mashinostroenie. 2020. T. 20. №1. S. 38-46.

12. Ryabov A.N., Kaznacheev D.G. GPS Spidometr // Luchshaya nauchno-issledovatel'skaya rabota 2022: sbornik statey XXXIV Mezhdunarodnogo nauchno-issledovatel'skogo konkursa. Penza, 2022. S. 19-24.

13. Baklanova K.V. Vliyaniye parametrov transportnogo potoka i kharakteristik dorog na bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya // Intellect. Innovatsii. Investitsii. 2023. № 2. S. 99-110.

14. Mosin K.K., Kovalevskiy V.E., Zhukova N.A. Ispol'zovanie metodov avtomatizirovannogo mashinnogo obucheniya dlya klassifikatsii dorozhno-transportnykh proisshestviy // Intellektual'nye tekhnologii na transporte. 2023. №2(34). S. 15-26.

15. Kononchuk E.V., Ermolenko T.V., Shishunov T.O. Modeli mashinnogo obucheniya dlya otsenki veroyatnosti poyavleniya DTP i ego ser'eznosti // Problemy iskusstvennogo intellekta. 2022. №1(24). S. 4-12.

16. Arutyunyan M.A. Razrabotka algoritmicheskogo apparata po obespecheniyu bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya // Modelirovaniye, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii. 2023. T. 11. №3(42). S. 9-10.

Pugachev Igor Nikolaevich

Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

Address: 680000, Russia, Khabarovsk, st. Dzerzhinsky, 54

Doctor of technical sciences

E-mail: ipugachev64@mail.ru

Sheshera Nikolay Gennadievich

Far Eastern Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia

Address: 680000, Russia, Khabarovsk, lane. Barracks, 15

Candidate of technical sciences

E-mail: kolyaka239@mail.ru

Grigorov Denis Evgenievich

Far Eastern Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia

Address: 680000, Russia, Khabarovsk, lane. Barracks, 15

Head of the office of special disciplines of the department of information and technical support of internal affairs bodies

E-mail: glowfish8lan@gmail.com

Научная статья

УДК 656.132(470.45)

doi:10.33979/2073-7432-2024-3-1(86)-12-22

А.В. КУЛИКОВ, А.П. ТЮКОВ, Д.Е. ЕРКИН, А.А. КУЛИКОВ

ОБЕСПЕЧЕНИЕ МУЛЬТИМОДАЛЬНОСТИ В ТУРИСТИЧЕСКИХ МАРШРУТАХ НА ПРИМЕРЕ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация. В работе использован системный подход в создании предлагаемой системы туризма. Применение онтологии позволило разработать классификацию туристических мест Волгоградской области. На основе классификации и установленных онтологических связей разработаны концепции туристических автобусных маршрутов. По уровню использования транспорта и его взаимодействия предложено разделение концепций туристических маршрутов на микроуровни, мезоуровни и макроуровни разрабатываемой системы туризма. Составлена тепловая карта транспортной доступности Волгоградской области, что позволило обеспечить использование разных видов транспорта в мультимодальных туристических маршрутах. Разработаны мультимодальные маршруты движения туристических автобусов, определены технико-эксплуатационные и экономические показатели функционирования применяемых автобусов.

Ключевые слова: туристические автобусные маршруты, водный транспорт, концепции туристических автобусных маршрутов, мультимодальные туристические маршруты, мультимодальные перевозки, онтология, онтология туризма, онтологические связи, тепловая карта транспортной доступности, туризм

Введение

Проблема транспортного обслуживания туристов не нова и возникла с распадом СССР, когда туристическая отрасль вышла из-под государственного контроля и начала развиваться самостоятельно в условиях рыночной экономики. Множество проблем, связанных с устареванием парка транспорта, недостаточным уровнем содержания автомобильных дорог приводили к тому, что туристическая отрасль была привлекательна при одном условии – посещение туристических мест производилось с использованием личного транспорта. В работах Кравченко А.Е. [1] рассматривались пути совершенствования транспортного обслуживания населения курортных районов Краснодарского края, в основном – за счёт обновления парка подвижного состава автотранспортных предприятий, поскольку ситуация в Краснодарском крае была плачевная на момент 2013 г. В работе Савеличевой Е.Е., опубликованной в «Вестнике транспорта» в 2023 г. прозвучала следующая мысль: «влияние внешних воздействий, приводящих к нестабильности в туризме, требует наличия эффективных инструментов противостояния, в числе которых важное значение имеет транспорт, инновационная деятельность которого способствует развитию внутреннего туризма» [2]. В статье Гончаровой Н.Ю. 2023 г. «Организация пассажирских перевозок смешанного типа. Мультимодальные туристические перевозки» появляется концепция туристического мультимодального маршрута, как совмещённого железнодорожно-паромного маршрута вдоль Кругобайкальской железной дороги, являющейся популярным туристическим направлением в наши дни [3].

Развитие туристической отрасли напрямую зависит от развития транспортной системы [4]. Турист, отправляясь в какую-либо местность, в первую очередь посещает те места, до которых проще всего добраться. Следовательно – популярность туристических мест зависит от транспортной доступности этих самых туристических мест [5]. При этом важно различать места, находящиеся в черте города и места, расположенные за его пределами. Туристические места предлагается исследовать с использованием системного подхода по уровню транспортной доступности и количеству затраченного времени на их посещение [6].

© А.В. КУЛИКОВ, А.П. ТЮКОВ, Д.Е. ЕРКИН, А.А. КУЛИКОВ, 2024

Материал и методы

Разработку маршрутов с использованием автомобильного транспорта предлагается выполнять системно на трёх уровнях – на микро-, мезо- и макроуровне. На микроуровне – туристические места расположены в пределах одной местности, например – в центре города и их посещение занимает 2-3 часа времени. Графоаналитический метод позволяет определить сектора с шаговой доступностью туристических мест для предлагаемой концепции «Доступный километр». На мезоуровне туристический маршрут проходится с использованием одного вида транспорта и может занимать весь день, как пример – концепции туристических поездок, описанные в ранних работах [7]. Маршрут на этом уровне разрабатывается методом построения транспортного графа модели маршрута концепции «От зари до зари». На макроуровне туристический маршрут включает различные виды транспорта и занимает длительное время. Для построения такого маршрута необходимо использовать метод создания тепловой карты транспортной доступности рассматриваемого туристического региона.

Теория и расчёт

Современная геополитическая ситуация дала возможность направить развитие туристической отрасли на внутренние территории нашей страны. Россия очень богата на туристические места, связанные с историко-культурным наследием, индустриальным развитием и природным разнообразием географических пространств. Рост внутреннего туризма привёл к созданию классификаций туристических мест под требования разных туристов (проживающих на местах, приезжающих издалека и иностранцев). Мировая практика показывает, что привлечение туристов и создание туристической системы на цифровой основе даёт дополнительный экономический рост региону [8]. Не является исключением и Волгоградская область, которая отмечается историческими и культурными особенностями, памятниками природы, техногенными достопримечательностями. Всё это усиливается продолжительным тёплым периодом, подходящим для активного отдыха на берегах двух крупных рек – Волги и Дона.

Применение методологии системного подхода в создании системы туризма позволяет (с учётом потребностей туриста, с наличием туристических мест и их популярностью) получить классификацию, представленную на рисунке 1 [9].

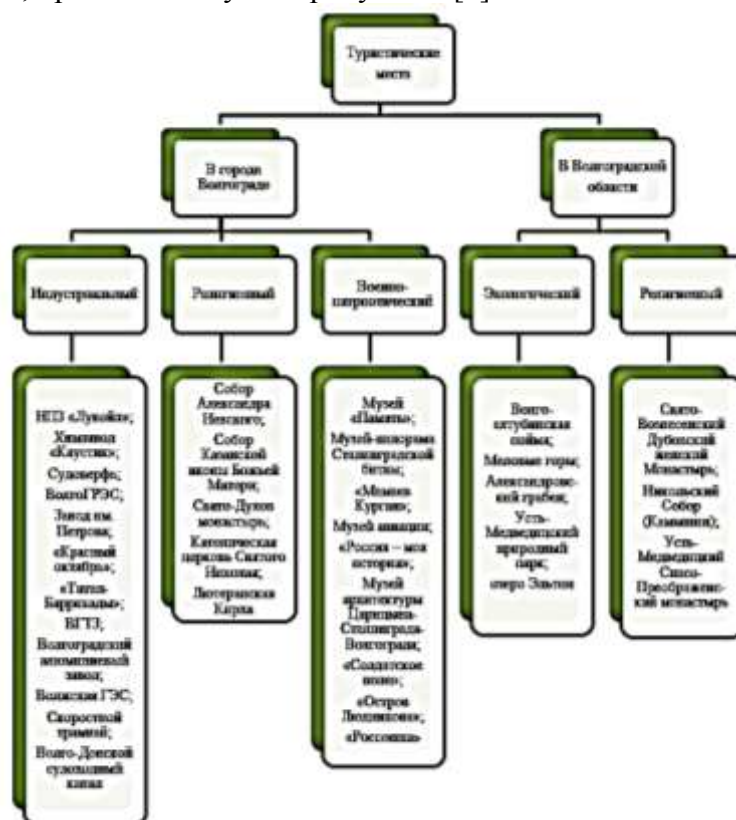


Рисунок 1 – Классификация туристических мест Волгоградской области (составлено авторами)

Применение онтологии [10] позволило разработать классификацию туристических мест города Волгограда и Волгоградской области [11]. На рисунке 2 представлена онтологическая схема в виде компонентов и связей. Схема имеет внутреннюю и внешнюю оболочки [11]. Внешняя оболочка является главенствующей, которая формирует направление развития туризма как отрасли. Внешняя политика, экономика, демография, экология, политика социального развития – это ключевые рычаги влияния на развитие системы туризма, а наличие транспортной доступности и цифровизация дают новое видение эффективной работы транспорта на основе мультимодальных принципов. Данное направление является актуальным и обеспечивает научную новизну настоящей работы. Главным компонентом системы является турист со своими сущностями (возраст, интересы, любимые места), вокруг него устраиваются компоненты (представляющие собой подсистемы) разрабатываемой системы туризма. Подсистемами являются туристические объекты, предприятия оказывающие сопутствующие услуги, транспортное хозяйство, транспортная инфраструктура и отделы формирования маршрутов.

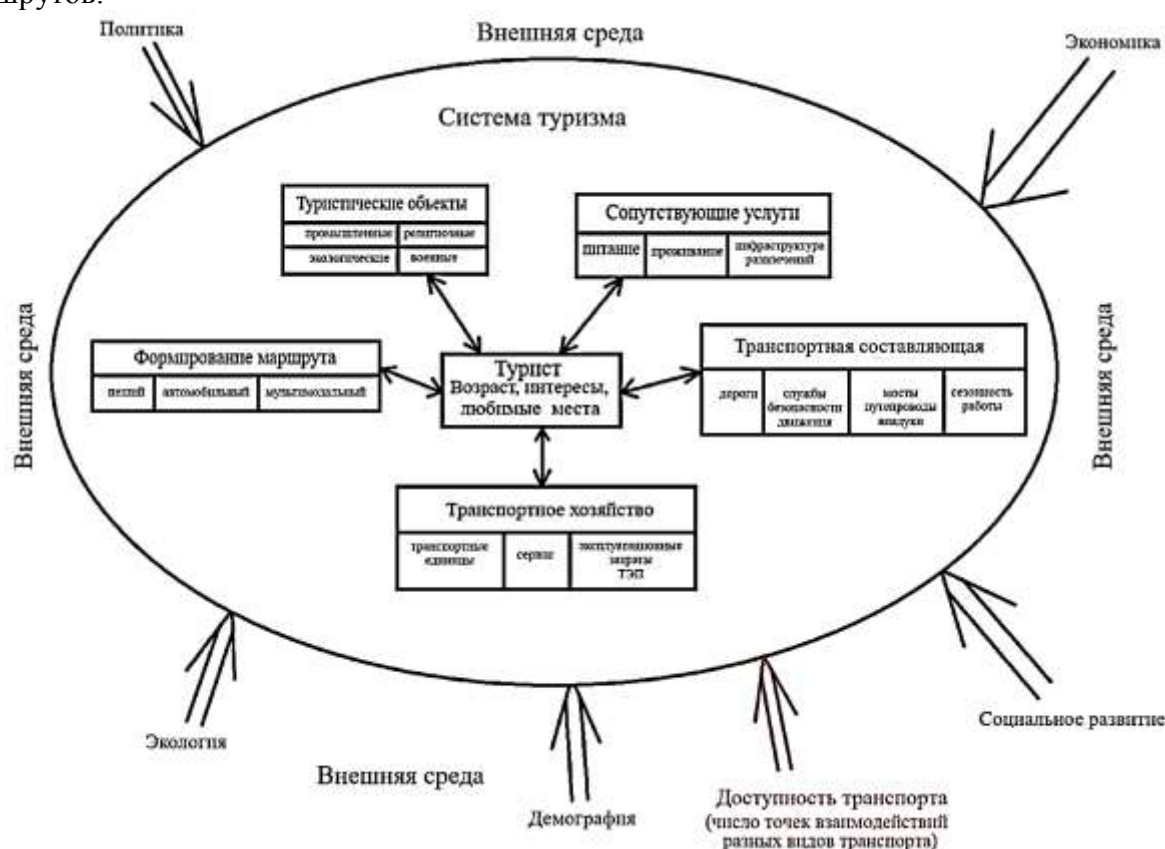


Рисунок 2 – Онтологические связи процесса оказания услуги по туристической поездке (составлено авторами)

На основе классификации и установленных онтологических связей разработаны концепции туристических автобусных маршрутов: на микроуровне – «Доступный километр» [11]; на мезоуровне – «От зари до зари» [7]; на макроуровне – «Путь Донской воды».

Для определения границ использования транспорта в мультимодальных маршрутах создана тепловая карта транспортной доступности жителей Волгоградской области. Тепловая карта выполнялась в масштабе графоаналитическим методом по навигационной карте «Яндекса» Волгоградской области. Исследовались численность населения и наличие транспортных путей по пяти круговым секторам с шагом радиуса 50 км от центра города до границы агломерации в 250 км. Информация собрана в табличном виде по каждому круговому сектору, а суммарная по сторонам света представлена на рисунке 3. Необходимо отметить, что северное и западное направления в транспортном обеспечении наиболее развиты. На

начало 2023 г. в Северо-Восточном секторе проживало 546,4 тыс. чел. в 12 крупных населенных пунктах. В Юго-Восточном секторе – 120 тыс. чел. в 5 крупных населенных пунктах. В Юго-Западном секторе – 283,3 тыс. чел. в 8 крупных населенных пунктах. В Северо-Западном секторе – 188,4 тыс. чел. в 12 крупных населенных пунктах. Каждый сектор обеспечен автомобильными, железнодорожными и водными транспортными путями.

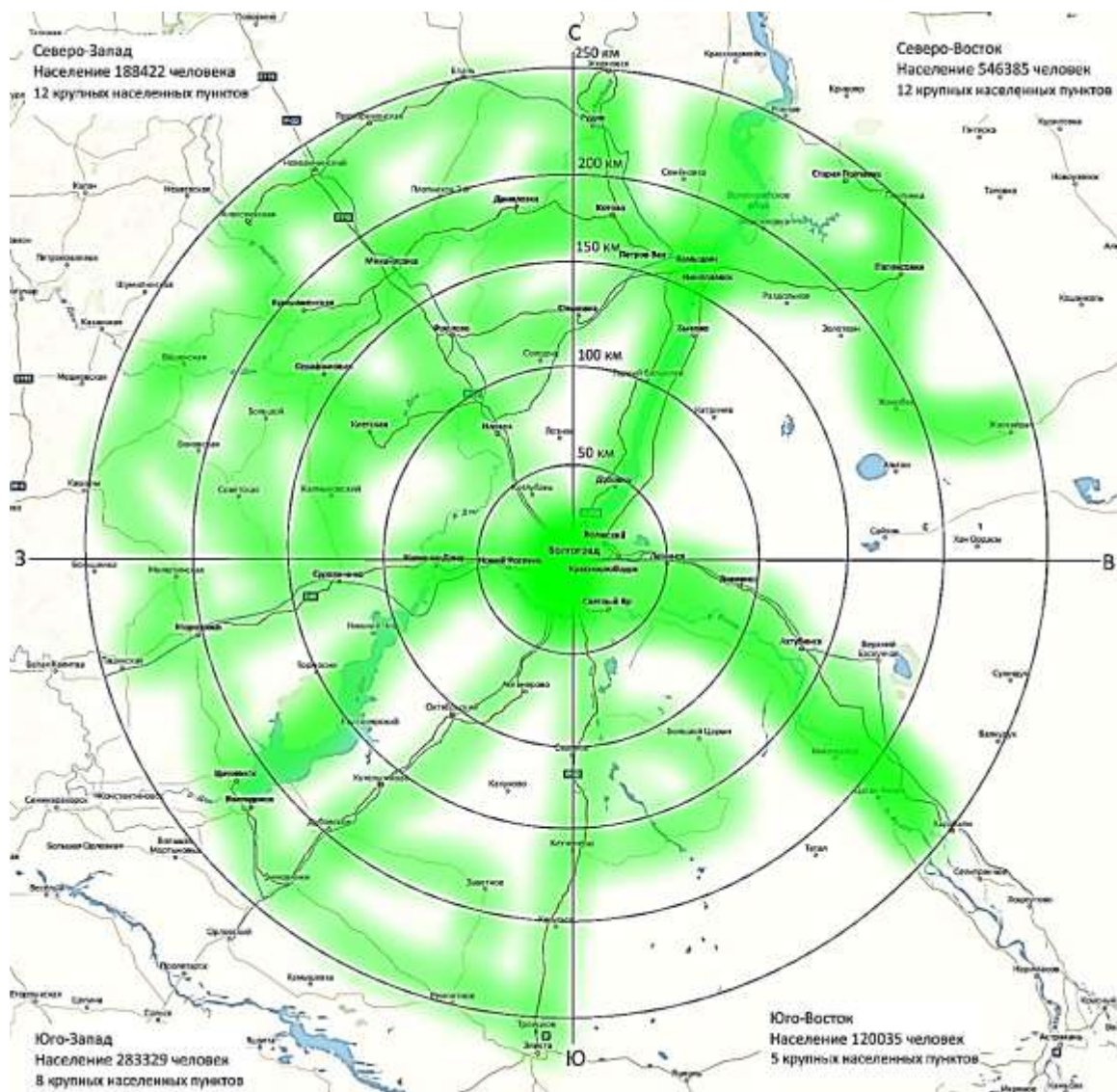


Рисунок 3 – Тепловая карта транспортной доступности жителей Волгоградской области (транспортная доступность на схеме тем лучше, чем интенсивнее цвет)

Тепловая карта показывает, что наличие железнодорожных и водных путей благоприятно сказывается на транспортной доступности и удобство пересадок при наличии соответствующих железнодорожных станций и причалов [12].

Технико-эксплуатационные и экономические показатели работы автобусов на предлагаемых маршрутах в работе рассчитывались по упрощенной методике.

При расчёте использовались следующие данные (табл. 1).

Представим пример расчёта технико-эксплуатационных и экономических показателей работы туристических автобусов на маршруте 1 концепции «От зари до зари»:

Пример расчета времени движения:

$$T_{\text{дв}} = T_{\text{дв}} = \frac{L_{\text{м}}^{\text{гор}}}{V_{\text{т}}^{\text{гор}}} + \frac{L_{\text{м}}^{\text{заг}}}{V_{\text{т}}^{\text{заг}}} = \frac{5+5+5}{35} + \frac{67+26+60+55}{65} = 4,08 \text{ (ч.)}, \quad (1)$$

где $L_{\text{м}}$ – расстояние перегона, км;

$V_{\text{т}}$ – техническая скорость, км/ч;

Таблица 1 – Исходные данные для расчета технико-эксплуатационных и экономических показателей (составлено авторами)

Наименование показателя	Обозначение	Единицы измерения	Значение показателя
Часовая ставка оплаты труда экскурсовода	$T_{\text{экс}}$	руб./ч	1000
Часовая ставка оплаты труда водителя	$T_{\text{вод}}$	руб./ч	250
Стоимость одного пайка	$C_{\text{пай}}$	руб.	200
Стоимость одного литра дизельного топлива	$C_{\text{топ}}$	руб./л.	62,92
Стоимость одной шины	$C_{1\text{ш}}$	руб.	20350
Число шин	$n_{\text{ш}}$	ед.	6
Техническая скорость при движении по городским дорогам	$V_{\text{т}}^{\text{гор}}$	км/ч	35
Техническая скорость при движении по загородным дорогам	$V_{\text{т}}^{\text{заг}}$	км/ч	65
Численность туристической группы	$n_{\text{чел}}$	ед.	48

Время пребывания ($T_{\text{преб}}$, ч.) рассчитывается из заложенного времени на экскурсию по определенному месту.

Определим стоимость затраченного топлива и расходов на ГСМ (10 % от стоимости топлива):

$$Z_{\text{топ}} = (Q_{\text{топ}}^{\text{дв}} \cdot L_{\text{м}} + Q_{\text{топ}}^{\text{пр}} \cdot T_{\text{преб}}) \cdot C_{1\text{л}} = \left(\frac{32}{100} \cdot 223 + 2,0 \cdot 8\right) \cdot 62,92 = 5496,69 \text{ (руб.)}, \quad (2)$$

где $Q_{\text{топ}}^{\text{дв}}$ – расход топлива в движении, л/100 км; (при расчёте принимаем 32л/100км);

$Q_{\text{топ}}^{\text{пр}}$ – расход топлива при простое, л/ч; (при расчёте принимаем равным 2 л/ч.);

$C_{1\text{л}}$ – стоимость 1 литра топлива, руб.; (при расчёте используем $C_{1\text{л}} = 62,92$ руб.).

$$Z_{\text{ГСМ}} = 0,1 \cdot Z_{\text{топ}} = 0,1 \cdot 5497 = 549,69 \text{ (руб.)}. \quad (3)$$

Определяем затраты на восстановление автомобильных шин (руб.), стоимость комплекта шин составляет:

$$C_{\text{ш}} = C_{1\text{ш}} \cdot n_{\text{ш}} = 20350 \cdot 6 = 122100 \text{ (руб.)}. \quad (4)$$

Срок службы автомобильной шины принимаем 5 лет или 40 тыс. км,

Тогда затраты на шины, руб. составят:

$$Z_{\text{ш}} = \frac{C_{\text{ш}}}{L_{\text{ш}}} = \frac{122100}{40000} = 680,71 \left(\frac{\text{руб.}}{\text{км}}\right). \quad (5)$$

При расчёте амортизации автомобиля используем упрощенную методику расчёта амортизации. Принимаем, что автобус до капитального ремонта прослужит 8 лет (2920 дн.). Начальная стоимость автомобиля – 18 млн. руб., суточная амортизация составляет:

$$Z_{\text{ам}}^{\text{дн}} = \frac{C_{\text{атс}}}{T_{\text{сл}}} = \frac{18000000}{2920} = 6165 \left(\frac{\text{руб.}}{\text{дн.}}\right). \quad (6)$$

И второй вариант расчета по пробегу до капитального ремонта. Принимаем, что пробег до капитального ремонта составляет 250 тыс. км:

$$Z_{\text{ам}}^{\text{км}} = \frac{C_{\text{атс}}}{L_{\text{к.р.}}} = \frac{18000000}{250000} = 72 \left(\frac{\text{руб.}}{\text{км}}\right). \quad (7)$$

При расчёте будем использовать учёт амортизации по пробегу до капитального ремонта:

$$Z_{\text{ам}} = L_{\text{м}} \cdot Z_{\text{ам}}^{\text{км}} = 223 \cdot 72 = 16056 \text{ (руб.)}. \quad (8)$$

При этом необходимо учитывать и постоянные затраты, в конкретном случае – это оплата услуг экскурсовода (в Волгограде средняя стоимость услуги экскурсовода составляет 1000 руб./ч.), тогда стоимость для выбранного маршрута составит:

$$Z_{\text{эк}} = T_{\text{экс}} \cdot T_{\text{м}} = 1000 \cdot 12,08 = 12080 \text{ (руб.)}, \quad (9)$$

$$\text{где } T_{\text{м}} = T_{\text{дв}} + T_{\text{преб}} = 4,08 + 8 = 12,08 \text{ (ч.)}. \quad (10)$$

При почасовой оплате труда по ставке в 250 руб./ч получим:

$$Z_{\text{вод}} = T_{\text{вод}} \cdot T_{\text{м}} = 250 \cdot 12,08 = 3020 \text{ (руб.)}. \quad (11)$$

Также необходимо заложить стоимость сухого пайка для каждого туриста, поскольку они находятся на экскурсии более 6 ч. Затраты на питание рассчитываем следующим образом:

$$Z_{\text{пит}} = C_{\text{пай}} \cdot n_{\text{чел}} = 200 \cdot 48 = 9600 \text{ (руб.)}. \quad (12)$$

При сложении всех затрат получаем:

$$\begin{aligned} C_{\text{мар}} &= Z_{\text{топ}} + Z_{\text{гсм}} + Z_{\text{ш}} + Z_{\text{ам}} + Z_{\text{эк}} + Z_{\text{вод}} + Z_{\text{пит}} = \\ &= 5496,69 + 549,67 + 680,71 + 16056 + 12080 + 3020 + 9600 = \\ &= 47483,07 \text{ (руб.)}. \end{aligned} \quad (13)$$

Или, при расчёте на 1 туриста:

$$C_{\text{мар}}^1 \text{ чел.} = \frac{C_{\text{мар}}}{n_{\text{чел.}}} = \frac{47483,07}{48} = 989,23 \text{ (руб.)}. \quad (14)$$

С учётом запланированной прибыли в 25 %, а также дополнительных затрат в 25 %, связанных с постоянными расходами предприятия, получаем стоимость экскурсии для одного туриста:

$$T = C_{\text{мар}}^1 \text{ чел.} \cdot (1 + 0,25 + 0,25) = 989,23 \cdot (1 + 0,25 + 0,25) = 1483,85 \text{ (руб.)}. \quad (15)$$

Расчёт экономических и технико-эксплуатационных показателей маршрутов на мезо-уровне и макроуровне представим в таблице 3.

Результаты и обсуждение

Среди индустриальных достопримечательностей г. Волгограда и Волгоградской области можно выделить Волго-Донской судоходный канал им. В. И. Ленина (далее – ВДСК), имеющий длину 101 км. Начинается он в г. Калач-на-Дону Волгоградской области. Огромные объемы перевозок грузов различными речными судами через канал, а также множество сложных инженерных сооружений делают его очень интересным для любителей индустриального туризма [13]. В таком случае можно предложить концепцию туристического маршрута с использованием автомобильного и водного транспорта, в качестве примера концепции туристической поездки на макроуровне можно предложить «Путь Донской воды»: Туристы собираются на площади перед кинотеатром «Юбилейный» в Красноармейском районе г. Волгограда, где происходит регистрация и посадка в автобус. Затем автобус движется к музейному комплексу «Старая Сарепта», где происходит экскурсия. После «Старой Сарепты» туристы двигаются на автобусе к причалу «Красноармейск» для пересадки на круизный теплоход. Во время круиза на теплоходе осуществляется питание туристов. Теплоход идёт по каналу до причала «Ильевка» в пос. Пятиморск, далее – пересадка на туристический автобус. Автобус перевозит туристов на экскурсию к шлюзу №13 ВДСК, после чего возвращает туристов обратно в г. Волгоград. Конечной точкой маршрута является площадь Ленина в Центральном районе г. Волгограда. Расчёт времени, отводимого на экскурсию, произведён в таблице 2.

Таблица 2 – Расчёт времени движения туристических автобусов на маршруте (составлено авторами)

Маршрут 4				
Название места	Событие	L _м , км	T _{дв} , ч.	T _{проб} , ч.
Кинотеатр Юбилейный	Сбор туристической группы, регистрация, посадка в автобус.	–	–	0,5
Старая Сарепта	Экскурсия по музейному комплексу, фотографирование.	3	0,18	1
Причал «Красноармейск»	Пересадка с автобуса на круизный теплоход.	5	0,3	0,5
Причал «Пятиморск»	Пересадка с круизного теплохода на автобус.	96	6	0,5
Шлюз №13	Полдник, наблюдение за работой шлюза, осмотр пульта управления.	1,5	0,09	1
Площадь Ленина	Окончание тура, обмен мнениями, фотографирование.	76	1,35	0,5
ИТОГО:		181,5	7,92	4
			11,92	

* L_м – пройденное расстояние, км;

T_{дв} – время движения, ч;

T_{проб} – время пребывания на туристической точке, ч.



Рисунок 4 – Маршрут концепции «Путь Донской воды»
(составлено авторами, основа Яндекс.Карты)

В результате длительность туристического маршрута составляет 11,92 ч. На пересадки между видами транспорта закладывается по 30 мин. На экскурсионные мероприятия закладывается по 1 ч. С обратной поездкой туристов на автобусе время тура составляет 12 ч. Техничко-эксплуатационные и экономические показатели работы автобусов на маршрутах на мезоуровне и макроуровне туристической системы представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчёта экономических и технико-эксплуатационных показателей (составлено авторами)

Показатель	Единицы измерения	Номер маршрута			
		1	2	3	4
L_m	км	223	416	319	181,5
$T_{\text{преб}}$	ч.	8	9	5,5	4
$T_{\text{дв}}$	ч.	4,08	6,25	5,1	7,92
$З_{\text{топ}}$	руб.	5496,69	9508,47	7114,99	4157,75
$З_{\text{гсм}}$	руб.	549,67	950,85	711,5	415,78
$З_{\text{ш}}$	руб.	680,71	1269,84	973,748	554,029
$З_{\text{ам}}$	руб.	16056	29952	22968	13068
$З_{\text{эк}}$	руб.	12080	15250	10600	11920
$З_{\text{вод}}$	руб.	3020	3812,5	2650	2980
$З_{\text{пит}}$	руб.	9600	9600	9600	9600
Затраты на аренду теплохода	руб.	–	–	–	28800
Итого:	руб.	47483,07	70343,7	54618,2	71495,6
Затраты на 1 туриста:	руб.	989,23	1465,49	1137,88	1489,49
Стоимость экскурсии:	руб.	1483,85	2198,24	1706,82	2234,24

В результате расчётов получаем стоимость организации работы маршрутов №1 – 3 концепции «От зари до зари» принадлежащей к мезоуровню от 989,23 руб. до 1465,49 руб., и стоимость экскурсии для туриста от 1483,85 руб. до 2198,24 руб., что является конкурентоспособным предложением, поскольку в г. Волгограде стоимость таких экскурсий начинается от 2500 руб. за одного человека [14].

Маршрут №4 занимает особое место, так как представляет макроуровень разрабатываемой туристической системы и является мультимодальным. Стоимость организации такого маршрута составляет 1489,49 руб. за одного туриста, а конечная стоимость экскурсии для одного туриста составит 2234,24 руб. и будет являться уникальным предложением, поскольку такие экскурсии в г. Волгограде перспективны [15].

Выводы

Применение системного подхода позволило разработать принципиально новую систему туризма на примере Волгоградской области. Разработана классификация туристических мест с разделением их на внутригородские (г. Волгоград) и загородные (Волгоградская область). Выделены четыре основных класса достопримечательностей: индустриальный, религиозный, военно-патриотический, экологический. После анализа онтологических связей процесса оказания туристических услуг, появилась возможность комплексно представить все структурные элементы предлагаемой системы с упорядоченными взаимосвязями. Открылась возможность машинного моделирования сложной социотехнической системы [16-18]. Разработанная схема состоит из внутренней и внешней оболочек. Внешняя является главенствующей, формирующей направление развития туризма как перспективной отрасли экономики страны. Внешняя политика, экономика, демография, экология, политика социального развития – это ключевые рычаги влияния на развитие системы туризма, а наличие транспортной доступности и цифровизация дают новое видение эффективной работы транспорта на основе мультимодальных принципов с обеспечением максимального уровня туристического сервиса. Данное направление является актуальным и обеспечивает научную новизну данной работы. Главным компонентом системы является турист со своими сущностями (возраст, интересы, любимые места), вокруг него устраиваются компоненты (представляющие собой подсистемы) разрабатываемой системы туризма. Разработаны примеры по использованию транспорта и его взаимодействия. Предложено разделить туристические маршруты на три системных уровня – микроуровень, мезоуровень и макроуровень. На основе классификации и установленных онтологических связей разработаны концепции туристических автобусных маршрутов: на микроуровне – «Доступный километр»; на мезоуровне – «От зари до зари»; на макроуровне – «Путь Донской воды».

Создана тепловая карта транспортной доступности Волгоградской области, которая позволила определить границы использования транспорта в мультимодальных маршрутах. Тепловая карта выполнялась в масштабе графоаналитическим методом по навигационной карте «Яндекса» Волгоградской области. Исследовались численность населения и наличие транспортных путей по пяти круговым секторам с шагом радиуса 50 км от центра города до границы агломерации в 250 км. Промежуточные результаты исследования показали, что на начало 2023 г. в 37 крупных населённых пунктах агломерации, за исключением г. Волгограда, проживали 1 138,1 тыс. чел. Необходимо отметить и то, что северное и западное направления в транспортном обеспечении наиболее развиты, но при этом каждый сектор обеспечен автомобильными, железнодорожными и водными транспортными путями.

В качестве примера разработаны маршруты движения туристических автобусов на мезо- и макроуровнях разрабатываемой системы туризма. Определены технико-эксплуатационные и экономические показатели работы автобусов на предлагаемых маршрутах. Рассчитана стоимость туристических маршрутов №1 – 3 концепции «От зари до зари» принадлежащей к мезоуровню от 989,23 руб. до 1465,49 руб., и стоимость экскурсии для туриста от 1483,85 руб. до 2198,24 руб. Расчёты показывают, что маршруты представляют собой конкурентоспособные предложения, поскольку в г. Волгограде стоимость таких экскурсий начинается от 2500 руб. за одного человека.

Маршрут №4 занимает особое место, так как представляет собой пример маршрута на макроуровне разрабатываемой туристической системы и является мультимодальным. Стоимость организации такого маршрута составляет 1489,49 руб. за одного туриста, а конечная стоимость экскурсии для одного туриста составит 2234,24 руб. и будет являться уникальным и востребованным предложением в летний сезон, поскольку увеличивается количество туристов, прибывающих из других регионов.

Выбранное направление создания системы туризма с мультимодальным обеспечением туристических маршрутов является актуальным, многие вопросы требуют продолжения в исследованиях, результаты которых будут представлены в следующих публикациях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кравченко А.Е. Методология совершенствования системы организации и управления процессами транспортного обслуживания населения в курортных зонах: специальность 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта»: автореф. на соиск. ученой степ. д-ра техн. наук. Санкт-Петербург, 2013. 40 с.
2. Савеличева Е.Е. Транспорт в развитии внутреннего туризма // Вестник транспорта. 2023. №1. С. 22-23.
3. Гончарова Н.Ю., Большаков Р.С., Давыдова Н.В. Организация пассажирских перевозок смешанного типа. Мультимодальные туристические перевозки // Известия Транссиба. 2023. №2(54). С. 68-79.
4. Кадилова Ш.Х., Фарманов Э.А., Пулатов М.М. Важность внедрения новых транспортных маршрутов в развитии туризма // Вопросы науки и образования. 2020. №10(94). С. 9-14.
5. Грачев И.Р. Повышение туристической привлекательности регионов России // Столыпинский вестник. 2023. Т. 5. №6.
6. Еркин Д.Е., Куликов А.В. Анализ туристических автобусных маршрутов выполняемых автотранспортными предприятиями Волгограда // Прогрессивные технологии в транспортных системах. Оренбург: Оренбургский государственный университет. 2023. С. 183-191.
7. Куликов А.В., Тюков А.П., Еркин Д.Е. Концепция развития туристических автобусных маршрутов в сельскохозяйственных районах Волгоградской области / под ред. О. В. Бурлаченко // Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса: сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. Волгоград: Волгогр. гос. техн. ун-т. 2023. С. 368-373.
8. Новичкова А.В. Перспективы развития внутреннего туризма в Российской Федерации // Мировые цивилизации. 2019. Т. 4. №1-2. С. 12-20.
9. Еркин Д.Е., Куликов А.В. Классификация значимых мест в туристических автобусных маршрутах Волгограда // Инновационные решения в области развития транспортных систем и дорожной инфраструктуры: Материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции, приуроченной к профессиональному празднику – дню работника автомобильного транспорта. Волгоград: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева (Рязань). 2023. С. 222-229.
10. Папуша С.И. Онтология и графовые базы данных // Проблемы экономики и юридической практики. 2020. №3. С. 268-272.
11. Куликов А.В., Тюков А.П., Еркин Д.Е. Возможности использования онтологии как инструмента при создании концепций туристических поездок на примере Волгоградской области // Реализация транспортной стратегии РФ до 2030 года в части развития автотранспортного комплекса: Сборник научных трудов 10-й Международной научно-практической конференции. Москва: Перо. 2024. С. 171-177.
12. Коваленко Н.А., Шорохова Л.С. Туристические перевозки как основа развития сферы мультимодальных пассажирских перевозок // Наука и технологии железных дорог. 2023. Т. 7. №3(27). С. 49-53.
13. Яхварова Е.В. Повышение конкурентоспособности регионального туризма в России (на примере Саратовской области) // Актуальные проблемы экономики и менеджмента. 2022. №2(34). С. 185-196.
14. Ростовская Т.К., Кудрявцев О.В. Развитие внутреннего туризма для молодых семей: социально-экономический анализ // Социально-экономическое управление: теория и практика. 2019. №2(37). С. 43-46.
15. Базарова Е.В., Титова С.А., Кашкова С.Д. Перспективы развития внутреннего туризма России в современных условиях // Бенефициар. 2022. №118. С. 31-34.
16. Тюков А.П., Бребельс А., Щербаков М.В., Камаев В.А. A concept of web-based energy data quality assurance and control system // The 14th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services. P. 267-271.
17. Щербаков М.В., Бребельс А., Щербакова Н.Л., Тюков А.П., Яновский Т.А., Камаев В.А. A Survey of Forecast Error Measures // World Applied Sciences Journal (WASJ). 2013. Vol. 24. С. 171-176.
18. Тюков А.П., Вишневецкий А.Р. Автоматизированное построение стратегии развития энергетического актива на основе моделирования // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2023. №8. С. 130-135. DOI: 10.37882/2223-2982.2023.08.33.

Куликов Алексей Викторович

Волгоградский государственный технический университет
Адрес: 400005, Россия, г. Волгоград, пр. им. В.И. Ленина, 28
К.т.н., доцент кафедры «Автомобильные перевозки»
E-mail: v2xoda@yandex.ru

Тюков Антон Павлович

Волгоградский государственный технический университет
Адрес: 400005, Россия, г. Волгоград, пр. им. В.И. Ленина, 28
К.т.н., доцент кафедры «Системы автоматизированного проектирования и поискового конструирования»
E-mail: Anton.tyukov@gmail.com

Еркин Данила Евгеньевич

Волгоградский государственный технический университет

Адрес: 400005, г. Волгоград, пр. им. В.И. Ленина, д. 28

Студент

E-mail: danila.erkin@gmail.com

Куликов Андрей Алексеевич

Волгоградский государственный технический университет

Адрес: 400005, Россия, г. Волгоград, пр. им. В.И. Ленина, 28

Студент

E-mail: UncherYT@yandex.ru

A.V. KULIKOV, A.P. TYUKOV, D.E. ERKIN, A.A. KULIKOV

ENSURING MULTIMODALITY IN THE TOURIST ROUTES OF THE VOLGOGRAD REGION

Abstract. *The paper uses a systematic approach in creating the proposed tourism system. The use of ontology has made it possible to develop a classification of tourist sites in the Volgograd region. The concepts of tourist bus routes have been developed on the basis of classification and established ontological relationships. According to the level of transport use and its interaction, it is proposed to divide the concepts of tourist routes into micro-levels, meso-levels and macro-levels of the tourism system being developed. A heat map of the transport accessibility of the Volgograd region has been compiled, which made it possible to ensure the use of different types of transport in multimodal tourist routes. Multimodal routes of tourist buses have been developed, technical, operational and economic indicators of the functioning of the buses used have been determined.*

Keywords: *tourist bus routes, water transport, concepts of tourist bus routes, multimodal tourist routes, multimodal transportation, ontology, the ontology of tourism, ontological connections, heat map of transport accessibility, tourism*

BIBLIOGRAPHY

1. Kravchenko A.E. Metodologiya sovershenstvovaniya sistemy organizatsii i upravleniya protsessami transportnogo obsluzhivaniya naseleniya v kurortnykh zonakh: spetsial'nost' 05.22.10 «Ekspluatatsiya avtomobil'nogo transporta»: avtoref. na soisk. uchenoy step. d-ra tekhn. nauk. Sankt-Peterburg, 2013. 40 c.
2. Savelicheva E.E. Transport v razvitiі vnutrennego turizma // Vestnik transporta. 2023. №1. S. 22-23.
3. Goncharova N.YU., Bol'shakov R.S., Davydova N.V. Organizatsiya passazhirskikh perevozkov smeshannogo tipa. Mul'timodal'nye turisticheskie perevozki // Izvestiya Transsiba. 2023. №2(54). S. 68-79.
4. Kadirova SH.H., Farmanov E.A., Pulatov M.M. Vazhnost' vnedreniya novykh transportnykh marshrutov v razvitiі turizma // Voprosy nauki i obrazovaniya. 2020. №10(94). S. 9-14.
5. Grachev I.R. Povyshenie turisticheskoy privlekatel'nosti regionov Rossii // Stolypinskiy vestnik. 2023. T. 5. №6.
6. Erkin D.E., Kulikov A.V. Analiz turisticheskikh avtobusnykh marshrutov vypolnyaemykh avtotransportnymi predpriyatiyami Volgograda // Progressivnye tekhnologii v transportnykh sistemakh. Orenburg: Orenburgskiy gosudarstvennyy universitet. 2023. S. 183-191.
7. Kulikov A.V., Tyukov A.P., Erkin D.E. Kontseptsiya razvitiya turisticheskikh avtobusnykh marshrutov v sel'skokhozyaystvennykh rayonakh Volgogradskoy oblasti / pod red. O. V. Burlachenko // Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya stroitel'nogo kompleksa: sb. tr. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Volgograd: Volgogr. gos. tekhn. un-t. 2023. C. 368-373.
8. Novichkova A.V. Perspektivy razvitiya vnutrennego turizma v Rossiyskoy Federatsii // Mirovye tsivilizatsii. 2019. T. 4. №1-2. S. 12-20.
9. Erkin D.E., Kulikov A.V. Klassifikatsiya znachimykh mest v turisticheskikh avtobusnykh marshrutakh Volgograda // Innovatsionnye resheniya v oblasti razvitiya transportnykh sistem i dorozhnoy infrastruktury: Materialy Vse-rossiyskoy studencheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, priurochennoy k professional'nomu prazdniku - dnyu rabotnika avtomobil'nogo transporta. Volgograd: Ryazanskiy gosudarstvennyy agrotekhnologicheskii universitet im. P.A. Kostycheva (Ryazan'). 2023. S. 222-229.
10. Papusha S.I. Ontologiya i grafovyе bazy dannykh // Problemy ekonomiki i yuridicheskoy praktiki. 2020. №3. S. 268-272.

11. Kulikov A.V., Tyukov A.P., Erkin D.E. Vozmozhnosti ispol'zovaniya ontologii kak instrumenta pri sozdani kontseptsii turistskikh poezdok na primere Volgogradskoy oblasti // Realizatsiya transportnoy strategii RF do 2030 goda v chasti razvitiya avtotransportnogo kompleksa: Sbornik nauchnykh trudov 10-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Moskva: Pero. 2024. S. 171-177.
12. Kovalenko N.A., Shorokhova L.S. Turisticheskie perevozki kak osnova razvitiya sfery mul'timodal'nykh passazhirskikh perevozok // Nauka i tekhnologii zheleznykh dorog. 2023. T. 7. №3(27). S. 49-53.
13. Yakhvarova E.V. Povyshenie konkurentosposobnosti regional'nogo turizma v Rossii (na primere Saratovskoy oblasti) // Aktual'nye problemy ekonomiki i menedzhmenta. 2022. №2(34). S. 185-196.
14. Rostovskaya T.K., Kudryavtsev O.V. Razvitie vnutrennego turizma dlya molodykh semey: sotsial'no-ekonomicheskii analiz // Sotsial'no-ekonomicheskoe upravlenie: teoriya i praktika. 2019. №2(37). S. 43-46.
15. Bazarova E.V., Titova S.A., Kashkova S.D. Perspektivy razvitiya vnutrennego turizma Rossii v sovmennyykh usloviyakh // Benefitsiar. 2022. №118. S. 31-34.
16. Tyukov A.P., Brebel's A., Shcherbakov M.V., Kamaev V.A. A concept of web-based energy data quality assurance and control system // The 14th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services. P. 267-271.
17. Shcherbakov M.V., Brebel's A., Shcherbakova N.L., Tyukov A.P., Yanovskiy T.A., Kamaev V.A. A Survey of Forecast Error Measures // World Applied Sciences Journal (WASJ). 2013. Vol. 24. C. 171-176.
18. Tyukov A.P., Vishnevetskiy A.R. Avtomatizirovannoe postroyeniye strategii razvitiya energeticheskogo aktiva na osnove modelirovaniya // Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki. 2023. №8. C. 130-135. DOI: 10.37882/2223-2982.2023.08.33.

Kulikov Alexey Viktorovich

Volgograd State Technical University
Address: 400005, Russia, Volgograd, V.I. Lenin Ave, 28
Candidate of Technical Sciences
E-mail: v2xoda@yandex.ru

Tyukov Anton Pavlovich

Volgograd State Technical University
Address: 400005, Russia, Volgograd, V.I. Lenin Ave, 28
Candidate of Technical Sciences
E-mail: Anton.tyukov@gmail.com

Erkin Danila Evgenievich

Volgograd State Technical University
Address: 400005, Russia, Volgograd, V.I. Lenin Ave, 28
Student
E-mail: danila.erkin@gmail.com

Kulikov Andrey Alekseevich

Volgograd State Technical University
Address: 400005, Russia, Volgograd, V.I. Lenin Ave, 28
Student
E-mail: UncherYT@yandex.ru

Научная статья

УДК 656.225:519.237.5

doi:10.33979/2073-7432-2024-3-1(86)-23-34

А.М. НАСЫБУЛЛИН

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ НА НАЗНАЧЕНИЕ ПОПУТНЫХ ОСТАНОВОК КОНТЕЙНЕРНЫМ ПОЕЗДАМ, КУРСИРУЮЩИМ ПО ТЕХНОЛОГИИ ПОСТОЯННОГО ФОРМИРОВАНИЯ

Аннотация. На основании ранее разработанной методики назначения попутных остановок [1] контейнерным поездам постоянного формирования осуществляется оценка работоспособности ее основных положений. Для оценки влияния отдельных факторов было произведено регрессионное моделирование методом наименьших квадратов с использованием эконометрического программного продукта Gretl, результаты которого позволили подтвердить гипотезы о рациональности назначения остановок контейнерным поездам при их выборочном подходе.

Ключевые слова: контейнерный поезд постоянного формирования, грузовые перевозки, эконометрика, регрессионный анализ, метод наименьших квадратов

Введение

Грузовые перевозки на железнодорожном транспорте играют значительную роль в экономике страны. Несмотря на внешние вызовы, в последние десятилетия наблюдается устойчивое развитие научно технического потенциала, внедрение новых типов подвижного состава, модернизация инфраструктуры и расширение применения новых технологических приемов.

Большинство проектов в грузовом движении, реализуемых на сети железных дорог, направлены на ускорение продвижения маршрутных отправок, освоение транзитных грузопотоков, а также увеличение доли контейнеризации грузов, которые способствуют наращиванию несырьевого экспорта и развитию транзитного потенциала России.

При этом конкурентоспособность железнодорожного транспорта в нишах перевозки немассовых грузов и освоения коротких внутренних корреспонденций остается крайне низкой.

Отвечая на многочисленные запросы клиентов и бизнес-партнеров ОАО «РЖД», силами специалистов и ученых транспортной отрасли признана целесообразность внедрения прогрессивной технологии перевозок контейнерными поездами постоянного формирования (КППФ), курсирующими по принципу следования пассажирских поездов дальнего следования – с промежуточными остановками для попутных грузовых операций [2,3].

Анализ технологии перевозок грузов (технология «Холодный экспресс») показал, что наличие промежуточных остановок на попутных станциях маршрута для выполнения безотцепочных грузовых операций, является отличительной характеристикой и областью, требующей дальнейшего изучения и развития.

На рисунке 1 представлена графическая интерпретация факторов (граф «и-или»), препятствующих успешному функционированию рассматриваемой технологии в случае принятия решения о необходимости назначения попутных остановок контейнерным поездам постоянного формирования.

Материал и методы

Поэтому в ранее опубликованных трудах авторов разработана методика назначения остановок КППФ, курсирующим с выполнением попутных грузовых операций по маршруту следования [4, 5]. Методика не включает в себя определения параметров по географическому размещению или необходимости выдерживания определенных расстояний между остановками [6], не учитывает путевое развитие станций [7-10] или характеристики подвижного состава [11], но формирует подходы к аргументированному выбору набора остановок на маршруте. Разработанная методика не может применяться для других сервисов железнодорожных перевозок [12-15] без внесения дополнительных адаптационных параметров.

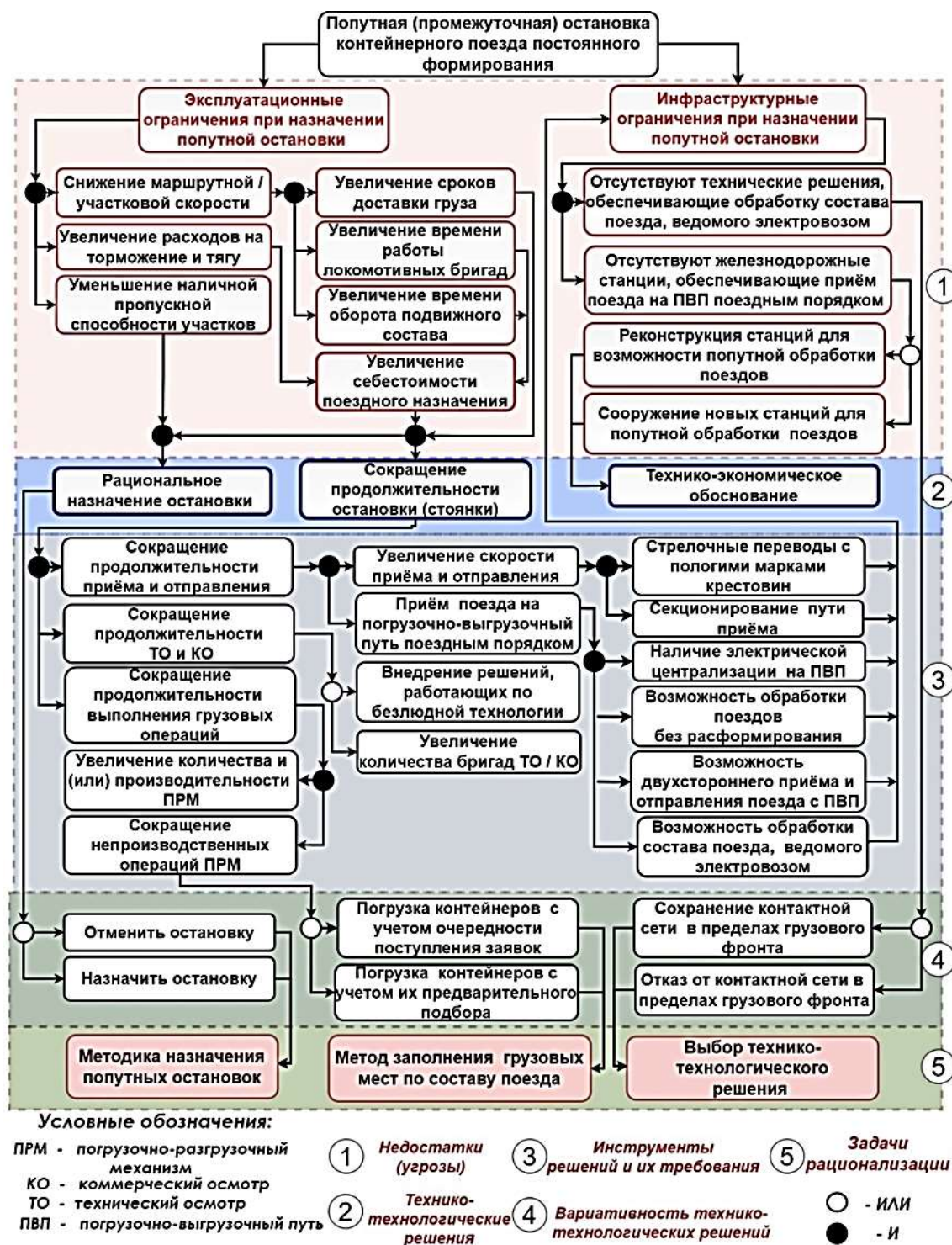


Рисунок 1 - Факторы, препятствующие успешному развитию технологии перевозок грузов в контейнерных поездах постоянного формирования

Для достижения наиболее выгодной стратегии эксплуатации, назначение остановок контейнерным поездам предложено оценивать по эксплуатационным затратам, которые определяются по методу единичных расходных ставок. Оптимальность вариантов назначения остановок определяется минимальностью суммарных эксплуатационных затрат для поездных назначений (маршрутов) предлагается оценивать по формуле (1):

$$F = \sum_{r \in RList} S_r \cdot z_r \rightarrow \min \quad (1)$$

где r – поездное назначение (маршрут) поезда; $RList$ – набор (список) всевозможных поезд-

ных назначений (маршрутов);

S_r – суммарные эксплуатационные затраты на поездное назначение (маршрут) r , руб;

z_r – количество поездов на поездном назначении (маршруте) r , шт.

Суммарные эксплуатационные затраты S_r ($r \in RList$) состоят из фиксированных эксплуатационных затрат на поездное назначение (U_r) и затрат, приходящихся на одну остановку P_n^r , $n \in N$ и могут определяться согласно формуле 2.

$$S_r = U_r + \sum P_n^r, \quad (2)$$

где U_r – величина эксплуатационных затрат на поездное назначение (маршрут) r , руб;

P_n^r – величина эксплуатационных затрат на остановку на станции n по маршруту r , руб;

n – станция, входящая в общий перечень станций N .

Количество поездов на поездном назначении (маршруте) определяется по формуле 3:

$$z_r = \frac{x_{c,r}}{D_r}, \quad (3)$$

где $x_{c,r}$ – объем перевозки корреспонденции (C) по маршруту (r), ДФЭ;

D_r – вместимость одного состава контейнерного поезда маршрута r , ДФЭ.

Расчеты базируются на положениях, представленных в актуальных нормативных документах, утвержденных ОАО «РЖД».

Апробация методики назначения остановок КППФ проводилась для полигона Москва – Красноярск [1] с соответствующим набором попутных станций, на которых в перспективе смогут останавливаться контейнерные поезда для выполнения попутных грузовых операций без их расформирования.

Результаты расчетов позволили заключить о наличии экономического эффекта при выборочном назначении остановок, который достигается за счёт рациональной отмены остановок для определенных поездных назначений при соответствующем освоении заданного объёма корреспонденций. Кроме того, полученный результат позволяет определить требуемое количество поездов на каждом из маршрутов.

Важно отметить, что результаты расчётов апробационного полигона и итоговый экономический эффект могут различаться на основании местных условий. Например, в случае увеличения продолжительности остановки на 2 часа, ее стоимость может увеличиться в 1,5 раза (рис. 2).

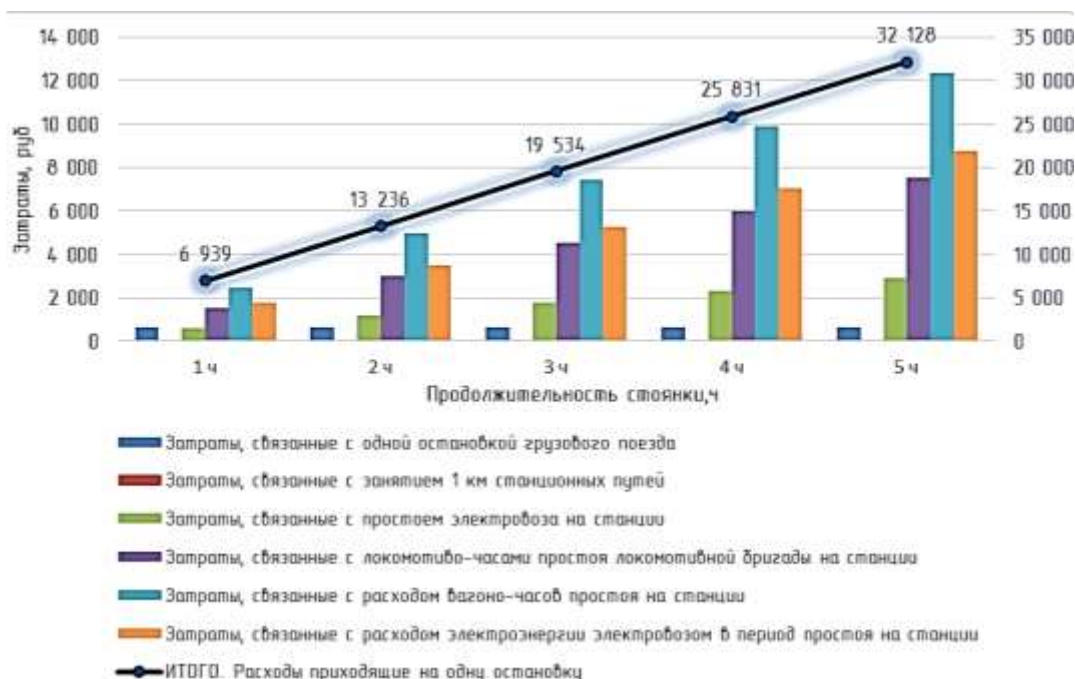


Рисунок 2 – Затраты, приходящиеся на одну остановку, в зависимости от её продолжительности

Кроме того, при апробации использованы среднесетевые значения корреспонденции контейнеропотоков, которые в перспективе потенциально могут быть перевезены в контейнерных поездах постоянного формирования, курсирующих с попутными грузовыми операциями. Тем не менее, это предположение не может оцениваться как достаточно вероятное, поэтому для оценки эффективности методики, в т.ч. для определения влияния факторов на экономический эффект от выборочного назначения попутных (промежуточных) остановок, предлагается использовать регрессионный анализ, который позволяет исследовать связь между зависимой и независимыми переменными.

Расчет

В качестве инструмента для проведения регрессионного анализа предлагается использовать наиболее распространённый метод при проведении статистических исследований – метод наименьших квадратов. Основная идея метода заключается в подборе коэффициентов модели (4) позволяющих минимизировать сумму квадратов отклонений между фактически значениями зависимой переменной и предсказанными значениями, полученными с помощью модели.

Такой подход позволяет построить модель, которая наилучшим образом описывает зависимость и позволит получить выводы и рекомендации, основанные на статистических данных.

$$Y_i = b_0 + b_1 \cdot X_{1i} + b_2 \cdot X_{2i} + \dots + b_j \cdot X_{ji} + \varepsilon_i; \quad (4)$$

где i – индекс, отображающий номер наблюдения, $i = 1, 2, \dots, n$;

Y_i – зависимая переменная;

X_1, X_2, \dots, X_{ji} – объясняющие переменные (регрессоры / факторы);

$b_0, b_1, b_2, \dots, b_j$ – коэффициенты регрессии;

ε_i – случайный член (ошибка регрессии).

В данном контексте, зависимой переменной может выступать эффект от выборочного назначения остановок – разница по двум вариантам назначения остановок.

Регрессионный анализ методом наименьших квадратов начинается со сбора исходных данных, которые могут быть получены на основании существующих статистических баз данных. Однако по причине невозможности получения реальных данных (технология не реализована) выборка может быть сформирована на основании равновероятной генерации случайных чисел в заданном диапазоне.

Несмотря на то, что такие данные будут иметь синтетический (искусственный) характер и не отражать реальных показателей или явлений, они могут быть полезны для тестирования сформированной модели.

Формирование выборки будет включать в себя следующий набор вводных данных:

$Stations (N)$ – количество станций (от 4 до 11);

Pn – эксплуатационные расходы на остановку от 2 до 33 тыс. руб.;

$Corr$ – количество корреспонденций грузопотоков от $2N-4$ до $2N+4$;

V_corr – объём каждой корреспонденции от 100 до 400 ДФЭ;

P_km – эксплуатационные расходы на один поезд-км назначения от 2 до 6 тыс. руб.

Для каждой корреспонденции задаётся случайный пункт отправления « i » из последовательности в диапазоне от 1 до $N-1$, а также пункт назначения « j » в диапазоне от $i+1$ до N .

На основании выборки создаются матрицы корреспонденций и эксплуатационных затрат (включая затраты на назначение остановки).

По итогам сформированных матриц рассчитываются целевые функции (суммарные эксплуатационные затраты) [4, 5, 16]. Сравнение вариантов будет выполняться на основании разницы-между величинами двух целевых функций $F1$ и $F2$ – с учетом выборочного назначения остановок и освоения поездными назначениями всех попутных станций маршрута.

Результаты расчета записываются в табличную форму согласно макету, представленному в таблице 1.

Таблица 1 – Макет произвольной выборки для регрессионного анализа (назначение остановок)

Номер испытания по порядку	Количество станций	Количество корреспондентов	Суммарный объём корреспондентов	Затраты на остановку	Средние затраты на поездное назначение	Целевая функция в оптимальном варианте 1	Целевая функция в оптимальном варианте 2	Разница целевых функций (количество сэкономленных затрат)
№	Stations	Corr	V_corr_sum	Pn	avg	F_1	F_2	dF ($F_1 - F_2$)
...
...

Построение регрессионной модели начинается с исследования степени корреляционной зависимости между переменными [17]. Для этого произведены расчёты линейных коэффициентов парной корреляции Пирсона путём построения корреляционной матрицы (рис. 3).

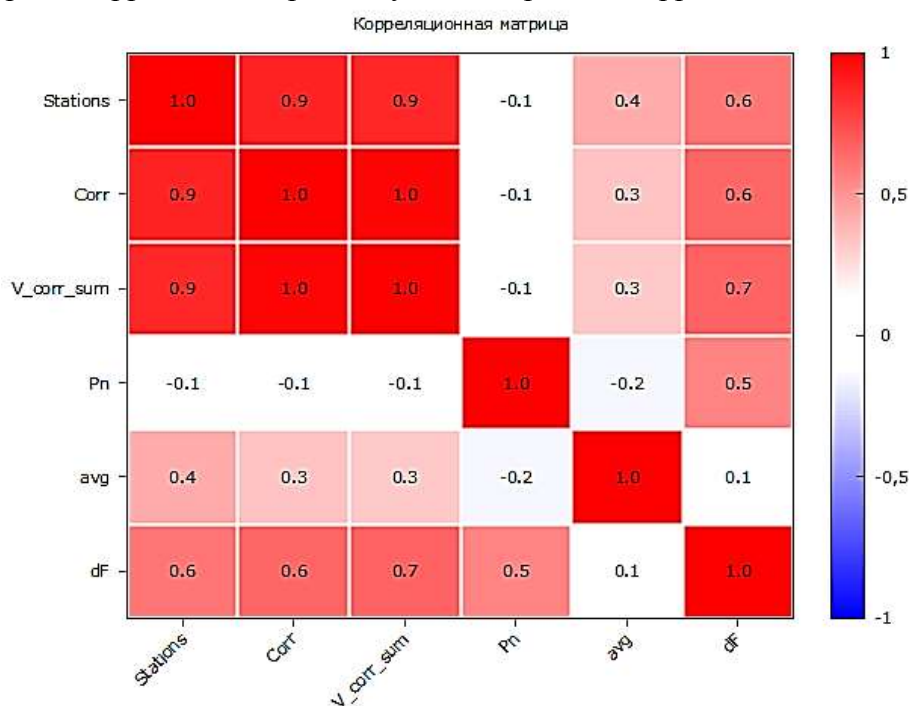


Рисунок 3 – Матрица линейных коэффициентов парной корреляции

Построение корреляционной матрицы и формирование множественной регрессии для упрощения вычислительных операций могут проводиться в стандартных эконометрических программных комплексах, находящихся в открытом доступе: «GRETЛ», «R», «Stata» или «Econometric Views».

В рамках исследования теоретические испытания проводились в программном пакете GRETЛ [18] с предварительным формированием исходных данных в программном комплексе Microsoft Excel.

Анализ сформированной матрицы показал (рис. 3), что все факторы (кроме avg) имеют высокую зависимость с переменной dF , при этом существует сильная связь между отдельными факторами, что может указывать на мультиколлинеарность.

Важно отметить, что коэффициенты парной корреляции оценивают только линейную связь переменных и могут быть не показательны в случае её нелинейной связи [19]. Поэтому, на данном этапе, ни один из факторов для дальнейшего рассмотрения исключать нецелесообразно.

Построим линейную модель многофакторной регрессии методом наименьших квадратов, включив все факторы, представленные в таблице 1, а в качестве зависимой переменной примем разницу целевых функций (dF).

Модель множественной регрессии и её оценка в эконометрическом пакете GRETL показаны на рисунке 4, на котором видно, что с хорошим коэффициентом детерминации ($R^2 = 0,8$) независимые переменные объясняют изменения зависимой переменной.

Для оценки качества регрессии применим встроенные статистические тесты, которые в эконометрическом пакете GRETL проводятся автоматически, с представлением результатов в соответствующей распечатке:

- тест Фишера – для проверки общей значимости регрессии в целом;
- тест Стьюдента – для оценки значимости отдельных коэффициентов при регрессорах [20].

Модель 1: МНК, использованы наблюдения 1-101					
Зависимая переменная: dF					
	коэффициент	ст. ошибка	t-статистика	p-значение	
const	-1610,80	176,964	-9,102	1,37e-014	***
Stations	100,182	44,5163	2,250	0,0267	**
Corr	13,8698	39,8263	0,3483	0,7284	
V_corr_sum	0,168872	0,0963171	1,753	0,0828	*
Pn	48,4764	3,86997	12,53	7,85e-022	***
avg	-0,0619185	0,0463337	-1,336	0,1846	
Среднее завис. перемен	775,1851	Ст. откл. завис. перемен	718,0949		
Сумма кв. остатков	10543987	Ст. ошибка модели	333,1506		
R-квадрат	0,795525	Исправ. R-квадрат	0,784763		
F(5, 95)	73,92068	P-значение (F)	3,30e-31		
Лог. правдоподобие	-726,8881	Крит. Акаике	1465,776		
Крит. Шварца	1481,467	Крит. Хеннана-Куинна	1472,128		
обратите внимание на сокращенные обозначения статистики					
Исключая константу, наибольшее p-значение получено для переменной 3 (Corr)					

Рисунок 4 – Модель множественной регрессии методом наименьших квадратов в программном комплексе GRETL

Как видно из рисунка 4, значение F-статистики (P-значение (F)) меньше выбранного уровня значимости (0,05) тем самым достаточно оснований для того, чтобы отклонить нулевую гипотезу о том, что все коэффициенты регрессии равны нулю, и принять альтернативную гипотезу, что уравнение является значимым.

Тестирование модели 1:					
Нулевая гипотеза: параметры регрессии нулевые					
Corr, avg					
Тестовая статистика: F(2, 95) = 0,931859, p-значение 0,39739					
Исключение переменных улучшило 3 из 3 информационных критериев.					
Модель 3: МНК, использованы наблюдения 1-101					
Зависимая переменная: dF					
	коэффициент	ст. ошибка	t-статистика	p-значение	
const	-1662,56	171,616	-9,688	6,34e-016	***
Stations	87,9878	41,0994	2,141	0,0348	**
V_corr_sum	0,204320	0,0365527	5,590	2,09e-07	***
Pn	49,0123	3,83106	12,79	1,53e-022	***
Среднее завис. перемен	775,1851	Ст. откл. завис. перемен	718,0949		
Сумма кв. остатков	10750840	Ст. ошибка модели	332,9165		
R-квадрат	0,791513	Исправ. R-квадрат	0,785065		
F(3, 97)	122,7524	P-значение (F)	6,67e-33		
Лог. правдоподобие	-727,8692	Крит. Акаике	1463,738		
Крит. Шварца	1474,199	Крит. Хеннана-Куинна	1467,973		
обратите внимание на сокращенные обозначения статистики					

Рисунок 5 – Тестирование модели множественной регрессии исключая не значимые регрессоры Corr и avg.

При этом для каждого коэффициента регрессии предоставлена t-статистика, которая показывает, насколько значимо отдельное воздействие на зависимую переменную при фиксированных других факторах.

Коэффициенты регрессии *Corr* (количество корреспонденций) и *avg* (среднее значение стоимости поездного назначения) имеют р-значение больше уровня значимости (0,05). Это говорит о том, что имеются статистически значимые доказательства в пользу того, что коэффициенты регрессии не значимы.

Новая модель, исключая статистически не значимые регрессоры *Corr* и *avg* (рис. 5), улучшила остальные информационные критерии, при сохранении значения коэффициента детерминации.

В контексте классической линейной модели множественной (парной) регрессии предполагается соблюдение предпосылок, известных как условия Гаусса-Маркова, необходимых для обеспечения состоятельности оценок коэффициентов регрессии. Нарушение хотя бы одного из условий может привести к искаженным или неэффективным оценкам коэффициентов регрессии, а также к некорректным статистическим выводам.

Используя внутренние надстройки эконометрического пакета проведем тест Рамсея [21], который позволяет определить способность нелинейной комбинации оценочного (расчетного) значения лучше объяснить изменения зависимой переменной (рис. 6).

Тест Рамсея позволяет сделать вывод о том, что гипотезу H_0 (Р-значение $< 0,05$) нужно отвергнуть, спецификация модели нуждается в корректировке.

Вспомогательная регрессия для теста Рамсея
МНК, использованы наблюдения 1-101
Зависимая переменная: dF

	коэффициент	ст. ошибка	t-статистика	p-значение
const	-290,313	263,361	-1,102	0,2731
Stations	41,5069	32,5348	1,276	0,2051
V_corr_sum	0,0288586	0,0402348	0,7173	0,4750
Pn	12,7864	7,22649	1,769	0,0800
yhat^2	0,000352485	0,000199928	1,763	0,0811
yhat^3	4,86539e-08	7,35438e-08	0,6616	0,5099

Тестовая статистика: $F = 39,000177$,
p-значение = $P(F(2, 95) > 39,0002) = 4,31e-013$

Рисунок 6 – Вспомогательная регрессия для теста Рамсея (на нелинейность модели)

Для корректировки модели применим нелинейное преобразование зависимой переменной – это позволяет представить регрессию в логарифмически-линейном виде и интерпретировать коэффициенты в новой зависимости (рис. 7) [22].

Зависимая переменная: l_dF

	коэффициент	ст. ошибка	t-статистика	p-значение
const	2,74930	0,177021	15,53	4,70e-028 ***
Stations	0,151871	0,0423937	3,582	0,0005 ***
V_corr_sum	0,000255236	3,77039e-05	6,769	9,90e-010 ***
Pn	0,0704629	0,00395171	17,83	2,24e-032 ***

Среднее завис. перемен	6,234038	Ст. откл. завис. перемен	0,956097
Сумма кв. остатков	11,43866	Ст. ошибка модели	0,343401
R-квадрат	0,874867	Исправ. R-квадрат	0,870997
F(3, 97)	226,0587	P-значение (F)	1,24e-43
Лог. правдоподобие	-33,31766	Крит. Акаике	74,63532
Крит. Шварца	85,09580	Крит. Хеннана-Куинна	78,87003

обратите внимание на сокращенные обозначения статистики

Тест Рамсея (RESET) –
Нулевая гипотеза: спецификация адекватна
Тестовая статистика: $F(2, 95) = 2,43021$
p-значение = $P(F(2, 95) > 2,43021) = 0,0934729$

Рисунок 7 – Модель множественной регрессии с логарифмически-линейной зависимостью

Метод инфляционных факторов

Минимальное возможное значение = 1.0

Значения > 10.0 могут указывать на наличие мультиколлинеарности

```
Stations      4,080
V_corr_sum    4,054
Pn            1,013
```

$VIF(j) = 1/(1 - R(j)^2)$, где $R(j)$ – это коэффициент множественной корреляции между переменной j и другими независимыми переменными

Рисунок 8 – Тест модели множественной регрессии на коллинеарность

Тест модели множественной регрессии на коллинеарность указал на отсутствие мультиколлинеарности в модели.

Далее, для проверки модели на адекватность, проведём проверку на гетероскедастичность используя Тест Бройша-Пагана, который оценивает линейную зависимость модели регрессии путём анализа дисперсии распределения остатков на каждом уровне предиктора (рис. 9), а также тест на нормальное распределение случайной величины (рис. 10).

Тест Бройша-Пагана (Breusch-Pagan) на гетероскедастичность
МНК, использованы наблюдения 1-101
Зависимая переменная: масштабированное uhat^2

	коэффициент	ст. ошибка	t-статистика	p-значение
const	10,1209	6,76585	1,496	0,1379
l_Stations	3,81306	1,84581	2,066	0,0415
l_V_corr_sum	-1,93689	1,14122	-1,697	0,0929
l_Pn	0,0326979	0,327018	0,09999	0,9206

Объясненная сумма квадратов = 19,6975

Тестовая статистика: LM = 9,848759,
p-значение = $P(\text{Хи-квадрат}(3) > 9,848759) = 0,019896$

Рисунок 9 – Тест модели множественной регрессии на гетероскедастичность

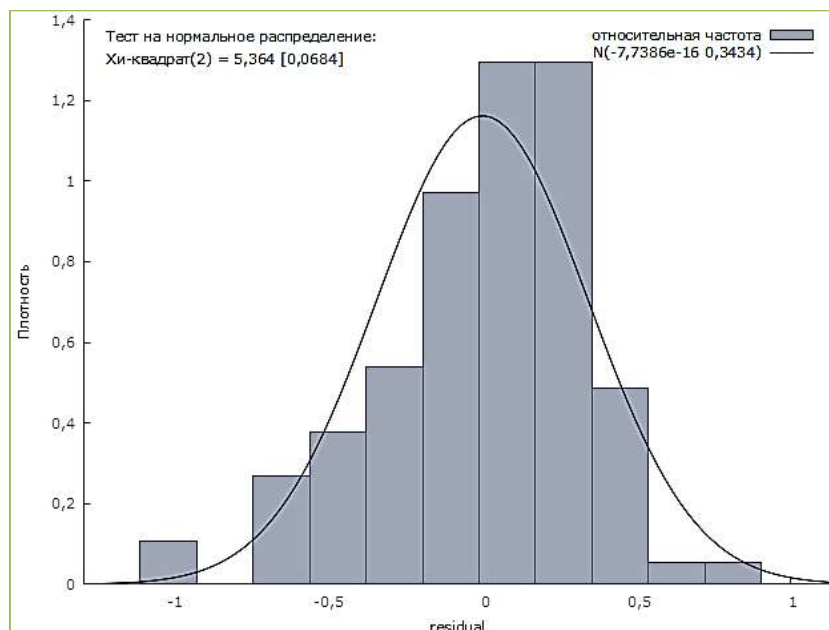


Рисунок 10 – Тест на нормальное распределение случайной величины

Тест на нормальное распределение показал, что значение хи-квадрат с уровнем значимости 0,06 показал допустимое отклонение между наблюдаемыми и ожидаемыми значениями на уровне значимости 0,05.

Результаты и обсуждение

На основании эконометрического исследования запишем модель полученного регрессионного уравнения в виде формулы 5:

$$dF_{ost} = 2,74 + 0,151 \cdot Stations + 0,0002 V_{corr_sum} + 0,0704 \cdot P_n; \quad (5)$$

где $Stations$ – количество станций на маршруте следования поезда (шт.);

V_{corr_sum} – суммарный объём корреспонденций (ДФЭ);

P_n – себестоимость назначения остановки (тыс. руб.);

dF_{ost} – зависимая переменная, отражающая эффект от выборочного назначения остановок (тыс. руб.), $dF_{ost} = \ln(F1_{ost} - F2_{ost})$.

Поскольку при проведении регрессионного анализа использовано более одного фактора (регрессора) с разными единицами измерения, то целесообразно представить переменные в одном масштабе путем стандартизации.

Представление переменных к одному масштабу (стандартизация) позволяет упрощать определение оценок неизвестных параметров, так как все переменные заданы как центрированные и нормированные, стандартизованные коэффициенты регрессии можно сравнивать между собой, а также исключается константа β_0 и за начало отсчета каждой переменной принимается значение среднего, а за единицу измерения – значение среднеквадратичного отклонения.

Уравнение множественной регрессии (формула 4) в стандартизованном виде представлено в формуле (6).

$$t(Y_i) = \beta_1 \cdot t(X_{1i}) + \beta_2 \cdot t(X_{2i}) + \dots + \beta_j \cdot t(X_{ji}) + \varepsilon_i; \quad (6)$$

где $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_j$ – стандартизованные коэффициенты регрессии;

$t(Y_i), t(X_{1i}), t(X_{2i}), \dots, t(X_{ji})$ – стандартизованные переменные регрессии.

$$t(Y_i) = \frac{Y_i - \bar{Y}_l}{\sigma(Y_i)}, \quad (7)$$

где $\sigma(Y_i)$ – среднеквадратичное отклонение переменных Y_i ;

\bar{Y}_l – среднее значение зависимых переменных Y_i ,

$$t(X_{ji}) = \frac{X_{ji} - \bar{X}_l}{\sigma(X_i)}, \quad (8)$$

где $\sigma(X_i)$ – среднеквадратичное отклонение объясняющих переменных X_i ;

\bar{X}_l – среднее значение объясняющих переменных X_i .

На основании формул 6-8 построим модель множественной регрессии (рис. 11) и запишем модель полученного регрессионного уравнения в стандартизованном (нормализованном) виде (9).

$$t(dF_{ost}) = 0,259 \cdot t(Stations) + 0,489 \cdot t(V_{corr_sum}) + 0,644 \cdot t(P_n), \quad (9)$$

где $t(dF_{ost})$ – стандартизованная (безразмерная) зависимая переменная, отражающая эффект от выборочного назначения остановок;

$t(Stations)$ – стандартизованная (безразмерная) объясняющая переменная, отражающая количество станций на маршруте следования поезда;

$t(V_{corr_sum})$ – стандартизованная (безразмерная) объясняющая переменная, отражающая суммарный объём корреспонденций;

$t(P_n)$ – стандартизованная (безразмерная) объясняющая переменная, отражающая себестоимость назначения остановки.

Данному уравнению (формула 9) можно дать следующую интерпретацию: эффект от выборочного назначения остановок существенно зависит (на 87 %) от объясняющих переменных $Stations, V_{corr_sum}$, а также P_n . При этом наибольшее влияние на зависимую переменную оказывает фактор себестоимости назначения остановки, далее – суммарный объём корреспонденций, а наименьшее – количество станций на маршруте следования поезда.

Модель 1: MNK, использованы наблюдения 1-101
Зависимая переменная: dF

	коэффициент	ст. ошибка	t-статистика	p-значение	
const	0,000000	0,0359170	0,0000	1,0000	
Stations	0,259895	0,0725482	3,582	0,0005	***
V_corr_sum	0,489576	0,0723212	6,769	9,90e-010	***
Pn	0,644482	0,0361440	17,83	2,24e-032	***
Среднее завис. перемен	0,000000	Ст. откл. завис. перем	1,004988		
Сумма кв. остатков	12,63842	Ст. ошибка модели	0,360961		
R-квадрат	0,874867	Исправ. R-квадрат	0,870997		
F(3, 97)	226,0587	P-значение (F)	1,24e-43		
Лог. правдоподобие	-38,35465	Крит. Акаике	84,70930		
Крит. Шварца	95,16978	Крит. Хеннана-Куинна	88,94400		

обратите внимание на сокращенные обозначения статистики

Тест на нормальное распределение ошибок -
Нулевая гипотеза: ошибки распределены по нормальному закону
Тестовая статистика: Хи-квадрат(2) = 5,3637
p-значение = 0,0684363

Тест Рамсея (RESET) -
Нулевая гипотеза: спецификация адекватна
Тестовая статистика: F(2, 95) = 2,43021
p-значение = P(F(2, 95) > 2,43021) = 0,0934729

Тест Бройша-Пагана (Breusch-Pagan) на гетероскедастичность -
Нулевая гипотеза: гетероскедастичность отсутствует
Тестовая статистика: LM = 4,82938
p-значение = P(Хи-квадрат(3) > 4,82938) = 0,184725

Рисунок 11 – Модель множественной регрессии в стандартизированном виде

Вывод

Результаты регрессионного анализа позволили подтвердить гипотезу, выдвинутую ранее в цикле научных работ [1, 4, 5, 16], о рациональности назначения остановок при их выборочном подходе.

Важно отметить, что представленная регрессионная модель построена на основе имеющихся данных и может использоваться для предсказания значений зависимой переменной в пределах заданного диапазона выборок (испытаний). Однако, если нужно показать прогноз вне этого диапазона, то необходимо построить новую модель, так как поведение данных за пределами исходного диапазона может существенно отличаться.

При построении регрессии с другими входными данными можно сформировать «кусочно-линейную» регрессию, когда нелинейная функция аппроксимируется в каждом из отдельных диапазонов выборок. Этот метод позволяет более гибко приближать сложные нелинейные зависимости с использованием линейных моделей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Насыбуллин А.М. Назначение попутных остановок грузовому поезду, курсирующему по технологии постоянного формирования // Экономика железных дорог. 2023. №12. С. 64-83.
2. Скачков А.А., Мехедов М.И., Петров В.В. Перевозка скоропортящихся грузов по технологии «холодный экспресс» // Железнодорожный транспорт. 2018. №9. С. 51-54.
3. Типовая технология перевозки грузов поездами «Холодный экспресс»: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 5 марта 2020 г. № 493/р. Екатеринбург: Урал-ЮрИздат, 2020. 24 с.
4. Вакуленко С.П., Насыбуллин А.М., Милевский А.С., Айсина Л.Р. Разработка модели назначения остановок грузовым поездам, курсирующим по технологии поездов постоянного формирования // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. 2023. №2(35). С. 36-42.
5. Вакуленко С.П., Насыбуллин А.М., Милевский А.С. Методология назначения остановок грузовым поездам постоянного формирования // Экономика железных дорог. 2021. №8. С. 56-66.
6. Колин А.В., Айсина Л.Р. Принципы определения оптимального расстояния между остановочными пунктами железнодорожного транспорта // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2020. №5. С. 32-36. DOI 10.36535/0236-1914-2020-05-6.
7. Шмаль В.Н., Прокофьева Е.С., Айсина Л.Р. Подход к определению наличной пропускной способности железнодорожного участка с использованием имитационного моделирования // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2017. №6-5(53). С. 105-108.

8. Пазойский Ю.О., Куртикова Э.Р., Савельев М.Ю. Совершенствование подходов к определению класса железнодорожной станции // Наука и техника транспорта. 2020. №2. С. 62-67.
9. Пазойский Ю.О., Савельев М.Ю., Куртикова Э.Р. Выбор типобразующих операций при классификации железнодорожных станций // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2019. №9. С. 12-16. DOI 10.36535/0236-1914-2019-09-2.
10. Козлов П.А., Колокольников В.С., Копылова Е.В. Об имитационном моделировании и имитационных системах // Транспорт Урала. 2019. №1(60). С. 3-6. DOI 10.20291/1815-9400-2019-1-3-6.
11. Локтионова А.Г., Шевцова А.Г., Копылова Е.В., Щетинин Н.А. Исследование разнородности динамических показателей легковых автомобилей для повышения эффективности функционирования городских транспортных систем // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №3-4(82). С. 47-52. DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-4(82)-47-52.
12. 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.
13. Вакуленко С.П., Колин А.В., Айсина Л.Р. Организация транспортного сервиса на участках совмещенного движения // Экономика железных дорог. 2020. №1. С. 54-60.
14. Вакуленко С.П., Кравцов А.С., Айсина Л.Р., Иванов А.П. Организация совместных пассажирских автоперевозок на малоинтенсивных направлениях // Мир транспорта и технологических машин. 2022. №4-1(79). С. 80-85. DOI 10.33979/2073-7432-2022-1(79)-4-80-85.
15. Айсина Л.Р. Согласование последовательности прибытий и отправок пригородно-городских поездов на узловых станциях железнодорожных линий с разветвлениями // История и перспективы развития транспорта на севере России. 2021. №1. С. 61-64.
16. Вакуленко С.П., Насыбуллин А.М., Милевский А.С., Айсина Л.Р. Алгоритм формирования задачи целочисленного линейного программирования при назначении остановок грузовым поездам, курсирующим по технологии постоянного формирования // Вестник транспорта Поволжья. 2023. №3(99). С. 52-59.
17. 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. DOI 10.23968/1999-5571-2022-19-5-116-122.
18. Baiocchi G. GRETL: Econometric software for the GNU generation // Journal of Applied Econometrics. 2003. Vol. 18. №1. P. 105.
19. Милевский А.С. Эконометрика: Учебное пособие. М.: МГУПС (МИИТ), 2015. 154 с.
20. Бурлуцкая А.Г., Семикопенко Ю.В., Шевцова А.Г. Параметры для проверки адекватности моделирования // Проблемы исследования систем и средств автомобильного транспорта: Материалы Международной очно-заочной научно-технической конференции. Вып. 1. Тула: Тульский государственный университет. 2017. С. 279-283.
21. Малова А.С. Основы эконометрики в среде Gretl: Учебное пособие // Москва: Проспект. 2016. 113 с.
22. Картаев Ф.С. Введение в эконометрику: Учебник. Москва: Экономический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 2019. 473 с.

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, Институт управления и цифровых технологий

E-mail: nasybullin.airat@mail.ru

A.M. NASYBULLIN

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF FACTORS ON THE ALLOCATION OF POINTS FOR CONTAINER TRAINS OPERATING ACCORDING TO TECHNOLOGY OF FIXED FORMATIONS

Abstract. The article describes the assessment of the operability of the main provisions of the previously developed methodology for assigning stopping points for container trains, which are plying according to the technology of fixed formation. To assess the impact of individual factors, regression modeling was performed using the least squares method with the econometric software product Gretl. The results allowed us to confirm the hypothesis about the rationality of assigning stops to container trains operating according to the technology of fixed formation.

Keywords: container train of fixed formation, cargo transportation, econometrician, regression analysis, least-square method

BIBLIOGRAPHY

1. Nasybullin A.M. Naznachenie poputnykh ostanovok gruzovomu poezdu, kursiruyushchemu po tekhnologii postoyannogo formirovaniya // Ekonomika zheleznikh dorog. 2023. №12. S. 64-83.

2. Skachkov A.A., Mekhedov M.I., Petrov V.V. Perevozka skoroportyashchikhsya грузов по технологии "kho-lodnyy ekspress" // Zhelezнодорожный транспорт. 2018. №9. S. 51-54.
3. Tipovaya tekhnologiya perevozki грузов poezdami «Holodnyy ekspress»: utv. rasporyazheniem OAO "RZHD" ot 5 marta 2020 g. № 493/r. Ekaterinburg: Ural-YUrlzdat, 2020. 24 s.
4. Vakulenko S.P., Nasybullin A.M., Milevskiy A.S., Aysina L.R. Razrabotka modeli naznacheniya ostanovok грузовым poezdami, kursiruyushchim po tekhnologii poezdov postoyannogo formirovaniya // Transport Aziatsko-Tikhookeanskogo regiona. 2023. №2(35). S. 36-42.
5. Vakulenko S.P., Nasybullin A.M., Milevskiy A. S. Metodologiya naznacheniya ostanovok грузовым poezdami postoyannogo formirovaniya // Ekonomika zhelezných dorog. 2021. №8. S. 56-66.
6. Kolin A.V., Aysina L.R. Printsipy opredeleniya optimal'nogo rasstoyaniya mezhdru ostanovochnymi punktami zhelezнодорожного транспорта // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. Nauchnyy informatsionnyy sbornik. 2020. №5. S. 32-36. DOI 10.36535/0236-1914-2020-05-6.
7. SHmal' V.N., Prokof'eva E.S., Aysina L.R. Podkhod k opredeleniyu nalichnoy propusknoy sposobnosti zhelezнодорожного uchastka s ispol'zovaniem imitatsionnogo modelirovaniya // Konkurentosposobnost' v global'nom mire: ekonomika, nauka, tekhnologii. 2017. №6-5(53). S. 105-108.
8. Pazoyskiy YU.O., Kurtikova E.R., Savel'ev M.YU. Sovershenstvovanie podkhodov k opredeleniyu klassa zhelezнодорожной stantsii // Nauka i tekhnika transporta. 2020. №2. S. 62-67.
9. Pazoyskiy YU.O., Savel'ev M.YU., Kurtikova E.R. Vybortipobrazuyushchikh operatsiy pri klassifikatsii zhelezнодорожных stantsiy // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. Nauchnyy informatsionnyy sbornik. 2019. №9. S. 12-16. DOI 10.36535/0236-1914-2019-09-2.
10. Kozlov P.A., Kolokol'nikov V.S., Kopylova E.V. Ob imitatsionnom modelirovanii i imitatsionnykh sistemakh // Transport Urala. 2019. №1(60). S. 3-6. DOI 10.20291/1815-9400-2019-1-3-6.
11. Loktionova A.G., Shevtsova A.G., Kopylova E.V., Shchetinin N.A. Issledovanie raznorodnosti dinamicheskikh pokazateley legkovykh avtomobiley dlya povysheniya effektivnosti funktsionirovaniya gorodskikh transportnykh sistem // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №3-4(82). S. 47-52. DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-4(82)-47-52.
12. 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.
13. Vakulenko S.P., Kolin A.V., Aysina L.R. Organizatsiya transportnogo servisa na uchastkakh sovmeshchennogo dvizheniya // Ekonomika zhelezných dorog. 2020. №1. S. 54-60.
14. Vakulenko S.P., Kravtsov A.S., Aysina L.R., Ivanov A.P. Organizatsiya sovmestnykh passazhirskikh avtoperevozok na malointensivnykh napravleniyakh // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2022. №4-1(79). S. 80-85. DOI 10.33979/2073-7432-2022-1(79)-4-80-85.
15. Aysina L.R. Soglasovanie posledovatel'nosti pribytiy i otpravleniy prigorodno-gorodskikh poezdov na uzlovykh stantsiyakh zhelezнодорожных liniy s razvetvleniyami // Istoriya i perspektivy razvitiya transporta na severe Rossii. 2021. №1. S. 61-64.
16. Vakulenko S.P., Nasybullin A.M., Milevskiy A.S., Aysina L.R. Algoritmy formirovaniya zadachi tselochislennogo lineynogo programmirovaniya pri naznachenii ostanovok грузовым poezdami, kursiruyushchim po tekhnologii postoyannogo formirovaniya // Vestnik transporta Povolzh'ya. 2023. №3(99). S. 52-59.
17. Novikov A.N., Kushchenko L.E., Novopisnyy E.A., Kambur A.S. Statisticheskiy analiz veroyatnosti vozniknoveniya dorozhno-transportnykh proisshествiy na osnove dannykh intellektual'nykh transportnykh sistem Belgorodskoy aglomeratsii // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2022. №5(94). S. 116-122. DOI 10.23968/1999-5571-2022-19-5-116-122.
18. Baiocchi G. GRETL: Econometric software for the GNU generation // Journal of Applied Econometrics. 2003. Vol. 18. №1. P. 105.
19. Milevskiy A.S. Ekonomika: Uchebnoe posobie. M.: MGUPS (MIIT), 2015. 154 s.
20. Burlutskaya A.G., Semikopenko YU.V., Shevtsova A.G. Parametry dlya proverki adekvatnosti modelirovaniya // Problemy issledovaniya sistem i sredstv avtomobil'nogo transporta: Materialy Mezhdunarodnoy ochno-zaochnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Vyp. 1. Tula: Tul'skiy gosudarstvennyy universitet. 2017. S. 279-283.
21. Malova A.S. Osnovy ekonometriki v srede Gretl: Uchebnoe posobie // Moskva: Prospekt. 2016. 113 s.
22. Kartaev F.S. Vvedenie v ekonometriku: Uchebnik. Moskva: Ekonomicheskii fakul'tet MGU im. M.V. Lomonosova, 2019. 473 s.

Nasybullin Ayrat Marovich

Russian University of transport

Address: 127994, Russia, Moscow, Obraztsova str., 9, p. 9.

Deputy chief or research and educational center «Nezavisimye kompleksnye transportnye issledovaniya», senior teacher

E-mail: nasybullin.airat@mail.ru

Научная статья

УДК 330.115

doi:10.33979/2073-7432-2024-3-1(86)-35-41

В.П. БЕЛОКУРОВ, Е.А. ПАНЯВИНА, Э.Н. БУСАРИН, Р.А. КОРАБЛЕВ

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ РАЦИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ГОРОДСКИХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК

Аннотация. Рассматривается динамическая экономико-математическая модель определения, рациональной структуры пассажирского автотранспорта и его возможный перспективный прогноз. Предложенная модель позволяет комплексно решать вопросы выбора типа пассажирского автотранспорта, его численности и распределения для обслуживания городских маршрутов.

Ключевые слова: пассажирские перевозки, улично-дорожная сеть, математическая модель, пассажиропоток, автотранспорт

Введение

Организация городскими пассажирскими автоперевозками осуществляется управлением пассажирского автотранспорта, которое решает вопросы типа подвижного состава, его численности и рационального распределения по маршрутам. Городские пассажирские автоперевозки рассмотрим, как некоторую динамическую управляемую систему, развивающуюся во времени. В системе автотранспортного обслуживания населения в результате изучения данного вопроса выделено две подсистемы: «пассажирский автотранспорт» и «население», образующее пассажиропотоки на улично-дорожной сети (УДС) городов. С этой целью рассматривается экономико-математический подход в системе транспортного обслуживания, её структура, информационное обеспечение каждой подсистемы, взаимосвязь подсистем и параметры функционирования.

Материал и методы

В рассмотрении подсистем «пассажирский автотранспорт» и «население» принимаем, что имеется (n) автобусных маршрутов на УДС города с номерами $i = 1, 2, \dots, n$, на каждом из которых задано изменение пассажиропотока в час «пик» $Q_i^{max}(t)$, где t принадлежит исследуемому отрезку времени $[0, T]$, то есть $t \in [0, T]$. Величина пассажиропотока $Q_i^{max}(t)$ зависит главным образом от численности и подвижности населения [1].

Исследуем техническую возможность и рациональность использования в момент времени (t) на каждом i -ом маршруте пассажирского автотранспорта одного из типов $j = 1, 2, \dots, l$, который определяется следующими показателями:

q_a^j - номинальная вместимость пассажирского автотранспорта j -го типа;

C_j - капиталовложения на приобретение одного пассажирского автотранспорта j -го типа;

\mathcal{E}_{ij} - эксплуатационные расходы на содержание одного пассажирского автотранспорта j -го типа на i -ом маршруте и т.д.

Для времени (t) на интервале $[0, T]$ принимается возможная верхняя граница (M_j^t) получения нового пассажирского автотранспорта каждого из исследуемых типов (j) и планируются капиталовложения (K^t).

Параметры (j^{im}, b_{ij}^m) определяют некоторое m -е состояние, в котором система находится в период времени (t), где $i = \overline{1, n}, j = \overline{1, l}$. Величина (j^{im}) характеризует порядковый номер типа пассажирского автотранспорта, работающего на i -м маршруте, а (b_{ij}^m) общее количество пассажирского автотранспорта j -го типа, работающего на i -м маршруте [2].

Теория / Расчет

Система переходит из состояния (m) в новое состояние (d), если изменяется хотя бы одно из значений параметров предшествующего состояния: требуемых интервалов движения, суммарное количество пассажирского автотранспорта по каждому типу и т.д.

Последовательность состояний (m) на некотором отрезке времени $[0, T]$ задаёт траекторию (ω) развития системы и мощность системы на маршруте (a_{ij}^m), которая характеризует пассажиропоток в автотранспорте j -го типа на i -м маршруте. Чтобы состояние (m) было работоспособным, необходимо выполнение условия $a_{ij}^m \geq Q_i^{\max}(t)$ для всех (i).

Мощность системы (a_{ij}^m) на маршруте характеризует пассажиропоток, который может быть освоен пассажирским автотранспортом j -го типа, работающим на i -м маршруте в количестве (b_{ij}^m), соответствующем состоянию (m) системы.

Принимаем, что (d_{ij}) является величиной пассажиропотока, который в перспективе может освоить пассажирский автотранспорт j -го типа на i -м маршруте.

Таким образом, для перехода системы из состояния (m) с параметрами $((j^{im}, b_{ij}^m); i = \overline{1, n}; j = \overline{1, l})$ в состояние (d) с параметрами $(j^{id}, b_{ij}^d); i = \overline{1, n}; j = \overline{1, l})$ необходимо выполнение условий [3]

$$d_{ij} \cdot b_{ij}^m \geq Q_i^{\max}(t); \frac{T_{об}^i}{b_{ij}^m} \leq u_i \text{ для всех } (i), \quad (1)$$

где $T_{об}^i$ - время оборота рейса;

u_i - интервал движения пассажирского транспорта, который будет характеризовать соблюдение условий смежности состояний (m) и (d).

Принимаем, что $\sum_{i=1}^n b_{ij}^m$ - является количеством пассажирского автотранспорта j -го типа в состоянии (m) системы. Соответственно $\sum_{i=1}^n b_{ij}^d$ - количество пассажирского автотранспорта j -го типа в состоянии (d) системы. В этом случае из условия смежности имеем следующее неравенство:

$$\sum_{i=1}^n b_{ij}^m \geq \sum_{i=1}^n b_{ij}^d - B_j^c, \quad (2)$$

где B_j^c - количество пассажирского автотранспорта j -го типа, подлежащего списанию в течение времени (t) рассматриваемого года [4].

Для изменения состояния системы (m) на состояние (d) в течение времени (t) рассматриваемого года также необходимо выполнение ограничения по максимально возможному количеству приобретения нового пассажирского автотранспорта (M_j^t) с учетом возможности имеет вид [5]:

$$\sum_{i=1}^n b_{ij}^d - \sum_{i=1}^n b_{ij}^m + B_j^c \leq M_j^t. \quad (3)$$

Величина капиталовложений (K^t) на приобретение нового пассажирского автотранспорта соответственно будет описываться следующим неравенством:

$$\sum_{j=1}^l C_j \cdot (\sum_{i=1}^n b_{ij}^d - \sum_{i=1}^n b_{ij}^m + B_j^c) \leq K^t, 0 \quad (4)$$

где C_j - величина капиталовложений на приобретение одного пассажирского автотранспорта j -го типа.

Условие (1) может быть заменено следующим неравенством:

$$A_{ij}(t) \leq b_{ij}^d \text{ для всех } (i) \text{ и } (j), \quad (5)$$

где $A_{ij}(t)$ - количество пассажирского автотранспорта j -го типа, необходимого для обслуживания i -го маршрута в течение времени (t) рассматриваемого периода, $t \in [0, T]$

$$A_{ij}(t) = \frac{Q_i^{\max}(t)}{q_a^j} \cdot \frac{T_{об}^i}{60}, \quad (6)$$

где $Q_i^{\max}(t)$ - максимальная мощность пассажиропотока на i -м маршруте в час «пик» в период времени (t) предстоящего года;

q_a^j - номинальная вместимость пассажирского автотранспорта j -го типа;

$T_{об}^i$ - время обратного рейса пассажирского автотранспорта на i -ом маршруте;

60 - переводной коэффициент [6].

В заданной постановке задачи принимается, что выделенное количество пассажирского автотранспорта $A_{ij}(t)$ должно не только обеспечивать обслуживание пассажиропотока на маршруте (i) в час «пик», но и обеспечивать необходимый интервал движения (u_i):

$$u_i \geq \frac{T_{об}^i}{A_{ij}(t)}. \quad (7)$$

Для большинства автотранспортных маршрутов интервал движения (u_i) в час «пик» определяется индивидуально в зависимости от его особенностей, но не более 5 минут [7].

Срок службы B_j^t пассажирского автотранспорта определяется величиной порядка не более 10 лет [8].

Результаты

Таким образом, на отрезке времени $[0, T]$ представляется возможность определить для каждого маршрута пассажирского автотранспорта в крупных городах в рассматриваемый период времени количество задействованного пассажирского автотранспорта и количество вновь вводимого при переходе из системы (m) в систему (d) [9]. Это обеспечит улучшение обслуживания пассажиров в случае сезонного увеличения пассажиропотока, а также будет сохранена бесперебойность интервалов движения пассажирского автотранспорта. Затраты при этом по автомобильному пассажирскому транспорту и по капиталовложениям должны быть минимальными и не превышать возможных собственных ресурсов, то есть

$$\min F_T(\omega) = \min \sum_0^T (K_t + \mathcal{E}_t + A_t) \cdot r_i, \quad (8)$$

где K_t – капиталовложения на соответствующий прирост парка пассажирского автотранспорта в период времени (t);

\mathcal{E}_t – эксплуатационные расходы на содержание пассажирского автотранспорта в период времени (t);

A_t – амортизационные отчисления на реновацию пассажирского автотранспорта;

r_i – коэффициент отдаленных затрат при переходе из состояния системы автоперевозок (m) в состояние системы (d).

При этом, капитальные вложения (K_t) включают затраты на приобретение нового пассажирского автотранспорта, на производственно-техническую базу и т.д. [10].

Эксплуатационные расходы (\mathcal{E}_t), связаны с организацией перевозки пассажиров автотранспортом и включают: затраты на топливо, эксплуатационные материалы, техническое обслуживание и текущий ремонт пассажирского автотранспорта, шины, заработную плату водителей, накладные расходы, амортизацию пассажирского автотранспорта и т.д.

Амортизационные отчисления (A_t) предназначены для реновации пассажирского автотранспорта и составляют C_j/t_{cl}^j для всех (j), где C_j – себестоимость пассажирского автотранспорта j -го типа; t_{cl}^j – срок службы пассажирского автотранспорта j -го типа [11].

Обсуждение

Как видно из постановки задачи, общее число массива состояний, описывающих систему, даже в простейших случаях может быть достаточно велико. Однако отказываться от приведенной постановки не следует. Использование ЭВМ позволяет систематизировать исходную информацию. Такая постановка обеспечивает возможность получить решение задачи, не разбивая городскую улично-дорожную сеть для пассажирского автотранспорта на отдельные участки, что требует впоследствии дополнительной увязки полученных решений [12]. При слишком большом объеме размерности массива состояний в больших городах предлагается использовать экономико-математическую модель поставленной проблемы в несколько ином виде.

Данная задача также может быть рассмотрена и решена как оптимизационная минимаксная. Так для пассажиров автотранспорта желательно чтобы на маршруте было как можно больше пассажирского автотранспорта повышенной вместимости, а для автотранспортных предприятий с точки зрения экономической целесообразности всё наоборот, что уменьшит затраты на перевозки [13].

Оптимальное сочетание количества пассажирского автотранспорта на маршрутах и их вместимость которое отражало бы интересы как пассажиров, так и автотранспортных предприятий может быть учтено с помощью критерия. Данный критерий будет характеризовать минимум затрат (Z), которые определяются как суммой стоимости потерь времени пассажирами на ожидание пассажирского автотранспорта на их остановках, так и затратами автотранспортных предприятий на автотранспортных маршрутах ($Z_{АТП}$), то есть:

$$Z = \min(\sum_{j=1}^m T_{ожji} C + Z_{АТП}), \quad (9)$$

где $T_{ожji}$ - средние затраты времени пассажирами на ожидание посадки на j – й остановке в i - й период времени, мин;

C - средняя стоимостная оценка потери пассажиро-часа на ожидание пассажирского автотранспорта, руб./ч.;

m – количество остановок на маршруте в прямом и обратном направлениях, ед.

При рассмотрении подсистемы «население», образующие пассажиропотоки на УДС городов основными требованиями, предъявляемыми в работе «пассажирского автотранспорта» - это полное удовлетворение населения в перевозках [14].

Перспективное прогнозирование системы транспортного обслуживания представляет собой процесс, с помощью которого данная система приспособливает свой «пассажирский автотранспорт» к изменениям внешних и внутренних условий «населения». Функция прогнозирования включает определение цели системы автотранспортного обслуживания населения, её элементов и определение параметров пассажиропотоков на УДС городов к которым относятся:

- направление пассажиропотоков, j ;
- количество типов пассажирского автотранспорта, i ;
- количество автотранспортных предприятий, k ;
- количество пассажирского автотранспорта типа i – A_{ik} ;
- пассажирский поток по направлению, R_j ;
- количество населения в отдельных районах больших городов, P_j ;
- общий пассажиропоток в отдельных районах больших городов, Q ;
- технические характеристики пассажирского автотранспорта: вместимость q_i , коэффициент наполнения пассажирского автотранспорта по определённому направлению, γ_{ij} ;
- тарифы на перевозку пассажиров, T_{ij} ;
- эксплуатационные и единовременные затраты на содержание, обновления и пополнения парка транспортных средств, S_i ;

Задача по прогнозированию развития системы заключается в удовлетворении спроса на перевозку пассажиров при достижении минимума функции, зависящей от затрат на перевозку населения и содержание автотранспортных средств, то есть [15]:

$$F = \min \psi(T_{ij}, S_i, X_{ij}), \quad (10)$$

при соблюдении следующих условий

$$\sum_i X_{ij} = R_j \text{ при } \sum_j R_j = Q, \quad (11)$$

при этом должен быть удовлетворён спрос на пассажирские автоперевозки по всем направлениям:

$$\frac{\sum_j X_{ij}}{q_i \gamma_{ij}} = A_{ik} \text{ (или } \sum_j X_{ij} / q_i \gamma_{ij}), \quad (12)$$

где X_{ij} – объем перевозок соответствующий направлению движения и типу пассажирского автотранспорта.

Следует отметить, что перевозки осуществляются только имеющимися в автотранспортном предприятии типами пассажирского автотранспорта.

Прогнозирования пассажирских перевозок в такой системе осуществляется следующим образом. Устанавливается влияние подсистемы «население» на значение (R_j), которые взаимосвязаны со значением (P_j). Подсистема «пассажирский автотранспорт» в свою очередь

влияет на значение (A_{ik}) и (γ_{ij}), находящихся в зависимости от значения (R_j). Определяется тариф на перевозку пассажиров (T_{ik}).

Задача по прогнозированию пассажирских перевозок автотранспортом сводится к поиску решения, удовлетворяющего взаимодействию величин (R_j , A_{ik} , T_{ik} , S_i), которые обеспечивают решение задачи (10-12) при заданных прогнозных оценках (P_j) и количестве направлений пассажиропотоков.

Каждая подсистема характеризуется своим набором задач, комплексное решение которых позволит улучшить транспортное обслуживание населения.

Выводы

При оптимизационных расчетах по критерию на основании зависимости (9) необходимо учитывать следующие ограничения:

- максимально допустимую пассажироместимость пассажирского автотранспорта;
- минимально допустимое количество пассажирского автотранспорта на маршрутах.

Предложенные методы рационального развития городских пассажирских перевозок могут быть использованы при выборе оптимального пассажирского автотранспорта по его вместимости, который обеспечит качество транспортного обслуживания при замене на маршруте пассажирского автотранспорта одной марки на другую при обеспечении таких показателей качества как наполняемость пассажирского автотранспорта, его регулярность движения при соблюдении требуемого интервала движения и обеспечения безопасности транспортного процесса при перевозке пассажиров.

Функция цели данной системы определяется как минимизации текущих, эксплуатационных и капитальных затрат, необходимых для освоения перспективного пассажиропотока по каждому направлению при условии соблюдения комфортности перевозок. Комфортностью в данном случае является состояние автотранспорта и транспортной сети, степень наполнения автотранспорта и его регулярность движения, время поездки пассажиров и т.д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антоношвили М.Е., Либерман С.Ю., Спирин И.В. Оптимизация городских автобусных перевозок. М.: Транспорт, 1985. 102 с.
2. Айзерман М.А. Выбор вариантов: основы теории. М.: Наука, 1990. 240 с.
3. Белокуров С.В., Белокуров В.П. Оптимизация многоцелевых транспортных задач при использовании алгоритма анализа и отсева на итерациях поиска решений // Транспорт: наука, техника, управление. Москва: ВИНТИ РАН. №6. 2009. С. 2-4.
4. Белокуров С.В., Скрыль С.В., Белокуров В.П. Особенности модели оптимального управления процессом отсева решений на базе синтеза теории выбора в транспортных системах // Транспорт. Наука, техника, управление: науч. информ. сб. РАН. Москва: ВИНТИ. 2010. №1. С. 5-9.
5. Белокуров В.П., Белокуров С.В., Скрыль С.В. Принятие решений для эффективного управления транспортными системами на основе ситуаций выбора // Транспорт: наука, техника, управление: Научный информационный сборник ВИНТИ РАН. №2. 2010. С. 6-12.
6. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений. М.: Логос, 2000. 296 с.
7. Сысоев А.С., Ляпин С.А., Галкин А.В. Интеллектуальные методы управления транспортными системами. 3-е изд. М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2023. 192 с.
8. Петров В.В. Теория управления движением транспортных потоков в городах. Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2020. 101 с.
9. Belokurov V.P., Spodarev R.A., Belokurov S.V. Determining passenger traffic as important factor in urban public transport system // Transportation research Procedia: XIV International Conference on Organization and Traffic Safety Management in Large Cities (OTS-2020), 2020. P. 52-58.
10. Belokurov, V.P., Belokurov, S.V., Korablev, R.A., Shtepa, A.A. Models of expert assessments and their study in problems of choice and decision-making in management of motor transport processes // Journal of Physics: Conference Series. 2018. 1015(3). 032132.
11. Belokurov V., Belokurov S., Zolnikov V. Modeling passenger transportation processes using vehicles of various forms of ownership // Transportation Research Procedia. 2018. 36. P. 44-49.
12. Kaufmann A., Gupta M.M. Fuzzy mathematical models in engineering and management science. Amsterdam: North-Holland, 1998. P. 195.

13. Gottlich S., Klar A. Model hierarchies and optimization for dynamic flows on networks // Modeling and optimization of flows on networks. Cetaro: C.I.M.E. 2009. P. 150.
14. Belokurov S.V., Belokurov V.P., Zolnikov V.K., Cherkasov O.N. Methods of multi-criteria optimization in problems of simulation of trucking industry // Transportation research procedia. 2017. №20. P. 47-52.
15. Shen X., Yao X. Mathematical modeling and multiobjective evolutionary algorithms applied to dynamic flexible job shop scheduling problems // Information Sciences. 2015. Vol. 298. P. 198-224.

Белокуров Владимир Петрович

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова
 Адрес: 394087, Россия, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8
 Д.т.н., профессор, профессор кафедры организации перевозок и безопасности движения
 E-mail: opbd_vglta@mail.ru

Панявина Екатерина Анатольевна

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова
 Адрес: 394087, Россия, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8
 К.э.н., доцент кафедры менеджмента и экономики предпринимательства
 E-mail: uproiz@vglta.vrn.ru

Бусарин Эдуард Николаевич

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова
 Адрес: 394087, Россия, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8
 К.т.н., доцент кафедры организации перевозок и безопасности движения
 E-mail: busarin.eduard@mail.ru

Кораблев Руслан Александрович

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова
 Адрес: 394087, Россия, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8
 К.с/х. н., доцент кафедры организации перевозок и безопасности движения
 E-mail: korablev_ruslan@mail.ru

V.P. BELOKUROV, E.A. PANYAVINA, E.N. BUSARIN, R.A. KORABLYOV

ECONOMIC AND MATHEMATICAL MODELS OF RATIONAL DEVELOPMENT OF URBAN PASSENGER TRANSPORTATION

Abstract. A dynamic economic and mathematical model for determining the rational structure of passenger transport and its possible long-term forecast is considered. The proposed model makes it possible to comprehensively solve the issues of choosing the type of passenger transport, its number and distribution for servicing city routes.

Keywords: Passenger Transportation, street and road network, mathematical model, passenger flow, motor transport

BIBLIOGRAPHY

1. Antonoshvili M.E., Liberman S.YU., Spirin I.V. Optimizatsiya gorodskikh avtobusnykh perevozok. M.: Transport, 1985. 102 s.
2. Ayzerman M.A. Vybor variantov: osnovy teorii. M.: Nauka, 1990. 240 s.
3. Belokurov S.V., Belokurov V.P. Optimizatsiya mnogoselevykh transportnykh zadach pri ispol'zovanii algoritma analiza i otseva na iteratsiyakh poiska resheniy // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. Moskva: VINITI RAN. №6. 2009. S. 2-4.
4. Belokurov S.V., Skryl' S.V., Belokurov V.P. Osobennosti modeli optimal'nogo upravleniya protses-sa otseva resheniy na baze sinteza teorii vybora v transportnykh sistemakh // Transport. Nauka, tekhnika, upravlenie: nauch. inform. sb. RAN. Moskva: VINITI. 2010. №1. S. 5-9.
5. Belokurov V.P., Belokurov S.V., Skryl' S.V. Prinyatie resheniy dlya effektivnogo upravleniya transportnymi sistemami na osnove situatsiy vybora // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie: Nauchnyy informatsionnyy sbornik VINITI RAN. №2. 2010. S. 6-12.
6. Larichev O.I. Teoriya i metody prinyatiya resheniy. M.: Logos, 2000. 296 s.
7. Sysoev A.S., Lyapin S.A., Galkin A.V. Intellektual'nye metody upravleniya transportnymi sistemami. 3-e

izd. M.: Izdatel'sko-torgovaya korporatsiya "Dashkov i K", 2023. 192 s.

8. Petrov V.V. Teoriya upravleniya dvizheniem transportnykh potokov v gorodakh. Omsk: Sibirskiy gosudarstvennyy avtomobil'no-dorozhnyy universitet (SibADI), 2020. 101 s.

9. Belokurov V.P., Spodarev R.A., Belokurov S.V. Determining passenger traffic as important factor in urban public transport system // Transportation research Procedia: XIV International Conference on Organization and Traffic Safety Management in Large Cities (OTS-2020), 2020. P. 52-58.

10. Belokurov, V.P., Belokurov, S.V., Korablev, R.A., Shtepa, A.A. Models of expert assessments and their study in problems of choice and decision-making in management of motor transport processes // Journal of Physics: Conference Series. 2018. 1015(3). 032132.

11. Belokurov V., Belokurov S., Zolnikov V. Modeling passenger transportation processes using vehicles of various forms of ownership // Transportation Research Procedia. 2018. 36. P. 44-49.

12. Kaufmann A., Gupta M.M. Fuzzy mathematical models in engineering and management science. Amsterdam: North-Holland, 1998. P. 195.

13. Gottlich S., Klar A. Model hierarchies and optimization for dynamic flows on networks // Modeling and optimization of flows on networks. Cetaro: C.I.M.E. 2009. P. 150.

14. Belokurov S.V., Belokurov V.P., Zolnikov V.K., Cherkasov O.N. Methods of multi-criteria optimization in problems of simulation of trucking industry // Transportation research procedia. 2017. №20. P. 47-52.

15. Shen X., Yao X. Mathematical modeling and multiobjective evolutionary algorithms applied to dynamic flexible job shop scheduling problems // Information Sciences. 2015. Vol. 298. P. 198-224.

Belokurov Vladimir Petrovich

Voronezh State Forestry University

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

Doctor of Technical Sciences

E-mail: opbd_vglta@mail.ru

Panyavina Ekaterina Anatolevna

Voronezh State Forestry University

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

Candidate of Economic Sciences

E-mail: uproiz@vglta.vrn.ru

Busarin Eduard Nikolaevich

Voronezh State Forestry University

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

Candidate of Technical Sciences

E-mail: busarin.eduard@mail.ru

Korablev Ruslan Alexandrovich

Voronezh State Forestry University

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

Candidate of Agricultural Sciences

E-mail: korablev_ruslan@mail.ru

Научная статья

УДК 629.113

doi:10.33979/2073-7432-2024-3-1(86)-42-50

А.С. ДЕНИСОВ, Е.В. ФЕКЛИН

МЕТОДОЛОГИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА ГОРОДСКИХ АВТОБУСОВ

Аннотация. В статье обоснована актуальность проведения исследования в направлении совершенствования системы технического обслуживания и ремонта подвижного состава городского пассажирского транспорта в рамках мегаполиса с целью повышения эффективности и безопасности осуществления перевозок пассажиров. Представлены показатели оснащённости пассажирских предприятий производственно-технической базой. Предложено в качестве основы предлагаемой системы использование концептуальной схемы принципа «хаб». Изложено место элементов производственно-технической базы автомобильного транспорта с учётом их эмерджентности и синергетики факторов транспортно-технологического комплекса. Представлены показатели оптимизации уровней концентрации и централизации технического сервиса автобусов. Предложена схема региональной системы технического сервиса автобусов. Произведено сравнение эффективности вариантов совершенствования производственно-технической базы технического сервиса городских автобусов.

Ключевые слова: техническое обслуживание и ремонт, производственно-техническая база, эффективность, централизация, кооперация, автобус, коэффициент технической готовности, коэффициент использования парка

Введение

В результате продолжающегося процесса урбанизации, происходит ежегодный рост количества автотранспортных средств и увеличение объема перевозок пассажиров. Интенсивное использование подвижного состава городского пассажирского транспорта приводит к повышению степени изношенности узлов и агрегатов. Используемая система послегарантийного технического обслуживания и ремонта (ТОиР) подвижного состава, особенно в условиях санкционного давления, приводит к недостаточно эффективному использованию производственных мощностей, повышению простоев автобусов, снижению коэффициента технической готовности (КТГ) и коэффициента использования парка (КИП).

Дополнительно проблему поддержания подвижного состава городского пассажирского транспорта дополняют их повышенная изношенность и медленные темпы обновления, несоответствие вместимости автобусов существующему на маршруте пассажиропотоку, что приводит к превышению числа пассажиров в салоне, наличие неоптимальной маршрутной сети населенных пунктов.

В рамках настоящей работы за основу исследования принимается изучение способа повышения эффективности системы технического обслуживания и ремонта подвижного состава городского пассажирского транспорта в рамках мегаполиса, под которым понимается крупный населенный пункт, как правило региональный центр.

Вопросам поддержания автобусов в технически исправном состоянии посвящены следующие работы [1-10].

Материал и методы

С целью обеспечения эффективности и безопасности осуществления пассажирских перевозок необходимо поддержание подвижного состава в технически исправном состоянии. Следовательно, особое внимание требуется уделить качественному и количественному оснащению производственно-технической базы (ПТБ), которые являются составной частью транспортного комплекса (рис. 1). В состав ПТБ входит:

- здания и сооружения на территории которых производятся технологические операции по ТОиР;
- производственно-технологическое оборудование для проведения ТОиР.



Рисунок 1 – Транспортно-технологический комплекс и его элементы

Проблемная ситуация производственно-технической базы автомобильного транспорта (табл. 1) – низкое качество технического сервиса из-за недостатков составляющих ПТБ и её структуры. Исполнители и оборудование находятся не в нужном месте и не в нужное время [11].

Цель работы – совершенствование системы технического обслуживания и ремонта подвижного состава городского пассажирского транспорта оптимизацией трудовых, материальных, временных ресурсов.

Оценка оснащённости автобусных парков ПТБ (табл. 1) показала её общую и структурную недостаточность.

Таблица 1 – Показатели оснащённости пассажирских предприятий производственно-технической базой

Показатель оснащённости	Нормативное значение, %	Фактическое значение, %	
		80-90-е годы	настоящее время
Удельный вес стоимости ПТБ от общей стоимости производственных фондов	55-60	43	19
Доля стоимости технологического оборудования в стоимости ПТБ	13-15	11,5	5,5

В настоящее время основная масса предприятий являются комплексными, выполняющими как перевозки пассажиров, так и технический сервис автобусов. Однако, в первом случае выполняется перевозочная деятельность. В этом случае подвижной состав является средством труда. Во втором случае выполняются операции технического сервиса (техническое обслуживание и ремонт). В этом случае подвижной состав является предметом труда [12].

Таким образом, объединение таких предприятий (рис. 2) не позволяет получить высокую эффективность. Целесообразны централизованные системы специализированных производств (СП) отдельно по перевозкам и отдельно по техническому сервису [13]. Транспортная инфраструктура состоит из транспортно-технологических комплексов (ТТК), в основе которых действует отраслевая специализация (перевозки, технический сервис).

Сформулирована проблемная ситуация, состоящая в том, что даже при недостатке ПТБ автобусов она неэффективно используется из-за несовершенства её структуры и организации, что повышает потери времени и снижает техническую готовность автобусов.



Рисунок 2 – Схемы систем формирования ПТБ

Теория / расчет

Для решения проблемной ситуации была выбрана концептуальная схема «Хаб» (рис. 3).



Рисунок 3 – Концептуальная схема использования принципа «хаб»

Виды СП приняты по специализации по элементам ТОиР определённых типов автобусов и сформированных типов задач.

Для достижения общей цели работы обоснована схема методологии (рис. 4). Она включает методологию обоснования уровня концентрации и централизации технического сервиса на основе теорий массового обслуживания и предельной полезности [14-15].



Рисунок 4 – Место элементов ПТБ автомобильного транспорта с учётом их эмерджентности и синергетики факторов ТТК (концептуальная схема)

В соответствии с разработанными методиками оптимизации уровня концентрации и

уровня централизации и специализации СП исследовано влияние уровня качества ТО на затраты на ТР, что показало возможность сократить затраты на ТР в 5-6 раз. Определены оптимальные значения уровня концентрации, уровня специализации на основе синергетики (табл. 2).

Таблица 2 – Показатели оптимизации уровней концентрации и централизации технического сервиса автобусов

Показатели и параметры оптимизации	Оптимальные значения
КТГ как функция от N (по России/по Москве)	540/3100
КТГ как функция доли ПТБ в стоимости ОПФ	55 %
КИП как функция доли ПТБ в стоимости ОПФ	49 %
Удельные капвложения как функция N	550
Уровень концентрации сервиса	70 %
Уровень централизации сервиса	75 %
КТГ как функция уровня механизации	48 %
Расход запчастей как функция уровня механизации	52 %

На основе этого разработана схема региональной системы технического сервиса автобусов (рис. 5).

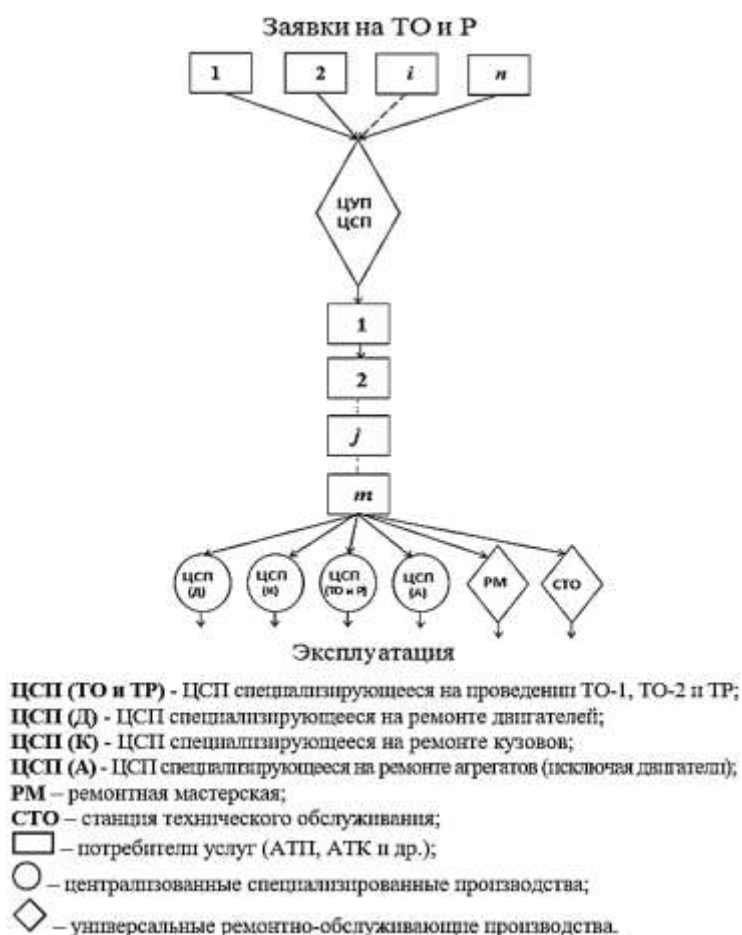


Рисунок 5 – Схема региональной системы технического сервиса автобусов

Проведён анализ влияния размеров мегаполиса на показатели эффективности городских автобусов, который позволяет скорректировать их нормативные значения (табл. 3).

Таблица 3 – Корректирование нормативов показателей работы городских автобусов в зависимости от размеров мегаполисов

Показатели \ Коэффициенты	500	1000	1500	2000
Количество автобусов	0,82	1,0	1,16	1,21
КТГ	0,84	1,0	0,86	0,88
Оптимальная концентрация	0,9	1,0	1,4	1,6
Уровень специализации	0,76	1,0	1,24	1,4
Средний возраст	1,3	1,0	0,64	0,5

Полученные коэффициенты целесообразно использовать при создании централизованной сети СП технического сервиса городских автобусов, а также при обосновании транспортной инфраструктуры образующихся агломераций.

В результате проведенного исследования, основываясь на теории массового обслуживания, был сделан вывод о наличии нескольких способов повышения качества системы ТО и Р подвижного состава городского пассажирского транспорта сочетанием как интенсивных, так и экстенсивных методов. Для формирования этих вариантов необходимо проанализировать имеющуюся ПТБ мегаполиса Саратов – Энгельс по критериям масштаба, оснащённости технологическим оборудованием и типов подвижного состава. С использованием положений теории массового обслуживания установлено количество обслуживающих каналов, представляющие собой показатели мощности СП. Изучив географическое расположение обслуживающих подвижной состав организаций и их производственные мощности, установлены координаты СП, с учетом материально-технического обеспечения и расположения складов запасных частей [4, 16-19]. В итоге существующая сеть пассажирских АТП, включающая в себя 17 организаций, обслуживающие более 15 ед. подвижного состава каждый (рис. 6), формируется в централизованную сеть СП (рис. 7), в рамках которой остаются только те организации, которые обладают основной долей стоимости ПТБ (около 78 %).



Рисунок 6 – Расположение потенциальных значимых организаций, обладающих необходимой ПТБ для проведения ТОиР автобусов

Результаты и обсуждение

С целью построения централизованной СП в рамках Саратовской агломерации необходима примерная сумма, соразмерная стоимости 100 единиц подвижного состава городского пассажирского транспорта средней вместимости. Данный расчет основан на многолетней практике обоснования стоимости ПТБ относительно стоимости подвижного состава. Этот вариант будем считать базовым. По таблице 5 сравним между собой эффективность прочих

вариантов (1 – существующая система; 2 – концентрированная и централизованная система; 3 – то же плюс специализация; 4 – то же, что и 3 плюс кооперация).



Рисунок 7 – Расположение рекомендуемых для СП организаций

Критерии эффективности для сравнения:

- $C_{общ}$ (Ξ_1) – общая стоимость ПТБ;
- $K_{вып}$ (Ξ_2) – коэффициент выпуска парка;
- $K_{зо}$ (Ξ_3) – коэффициент загрузки оборудования;
- $K_{ирв}$ (Ξ_4) – коэффициент использования рабочего времени.

Таблица 4 – Сравнительная эффективность вариантов совершенствования ПТБ технического сервиса городских автобусов

Вариант	$C_{общ}$	$K_{вып}$	$K_{зо}$	$K_{ирв}$
1	100	0,65	0,55	0,48
2	50	0,85	0,61	0,57
3	70	0,83	0,68	0,65
4	75	0,87	0,72	0,71

С учетом данных из таблицы 4 выбирается наиболее эффективный вариант по сравнению с альтернативными по определенному показателю (табл. 5). Методика расчета ранжируется по условиям риска или неопределенности. Оценка вероятности реализации частных событий может производиться при помощи экспертных оценок.

Таблица 5 – Матрица решений для обоснованных вариантов развития производственно-технической базы мегаполиса Саратов – Энгельс

Варианты	Критерии				
	Ξ_1	Ξ_2	Ξ_3	Ξ_4	Сумма
1	$1*2=2$	$1*4=4$	$2*4=8$	$3*3=9$	23
2	$3*3=9$	$3*4=12$	$3*3=9$	$4*3=12$	42
3	$4*4=16$	$4*5=20$	$4*4=16$	$4*4=16$	68
4	$5*5=25$	$5*5=25$	$4*4=16$	$4*4=16$	82

Исходя из матрицы решений (табл. 5), наиболее предпочтительным является четвертый вариант, имеющий максимальную сумму баллов 82 и сочетающий многие экстенсивные и интенсивные методы развития.

Выводы

Ключевой частью централизованной системы технического сервиса автобусов являются специализированные производства (СП).

При обосновании мощности СП целесообразно использовать концепцию и принципы узлового пункта (хаб), принцип действия которого заключается в централизованной обработке поступающих в случайном порядке заявок на проведение обслуживания подвижного состава городского пассажирского транспорта.

Целесообразность концентрации производства основывается на положениях теории предельной полезности услуг. КТГ и КИП могут быть приняты в качестве параметров полезности.

Показатель уровня централизации рассчитывается, как отношение между централизованными организациями к их общему числу. Обеспечение условий централизации сервисного производства способствует оптимизации исполнения входящего стохастического потока заявок, снижению простоев оборудования и подвижного состава в очереди, повышению качества сервисных услуг.

Специализация представляет собой на реализацию конкретной номенклатуры работ по проведению ТОиР подвижного состава, которая способна использовать в рамках технологического процесса оптимальный набор материально-технических ресурсов. Влияние специализации на эффективность СП целесообразно рассматривать с позиций синергетического подхода. Она способствует повышению качества работ, что является новым свойством. Она за счёт параллельности работ во времени сокращает время простоя в ремонте, что является ещё новым свойством. Она способствует повышению загрузки технологического оборудования, что также является новым свойством. Оптимальным уровнем специализации постов ТР, то есть долей их в общем количестве постов будет тот, при котором максимум производительности комплекса ТР.

Методология выбора вариантов кооперации включает: анализ функциональной пригодности ПТБ для СП; размер ПТБ; занятость ремонтного персонала; загрузка технологического оборудования и его техническое состояние. Затем определяется способ и уровень кооперации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Baskov V., Ignatov A., Polotnyanshikov V. Assessing the influence of operating factors on the properties of engine oil and the environmental safety of internal combustion engine // *Transportation Research Procedia*. 14. Saint Petersburg. 2020. Vol. 50. P. 37-43.
2. Baskov V., Denisov A., Ignatov A., Isaeva E. Mechanism for assessing the adaptation of motor vehicles to operation in the Arctic zone of the Russian Federation // *Transportation Research Procedia*. St. Petersburg. 2021. Vol. 57. P. 56-62.
3. Grayevskiy I., Marusin A. CDF simulation-based research of influence of mechanical defects in nozzles on environmental parameters of automotive diesel engines // *Transportation Research Procedia*. 14. Saint Petersburg. 2020. Vol. 50. P. 182-191.
4. 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.
5. Бойко Н.Е., Калинина Е.А. Повышение эффективности функционирования автотранспортного предприятия на базе системного подхода к управлению службой ремонта // *Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева*. 2019. Т. 2. №1. С. 49-59.
6. Игнатов А.В., Басков В.Н. Интегральная оценка процесса эксплуатации машинно-тракторного парка // *Научное обозрение*. 2011. №6. С. 92-97.
7. Басков В.Н., Игнатов А.В. Влияние режимов работы ДВС на загрязнение окружающей среды // *Мир транспорта и технологических машин*. 2018. №3(62). С. 112-118.
8. Черняев И.О., Воробьев С.А., Евтюков С.А. Способ оперативной индивидуальной корректировки периодичности технического обслуживания автотранспортных средств // *Вестник гражданских инженеров*. 2020. №2(79). С. 202-207.
9. Грушецкий С.М., Евтюков С.А., Репин С.В., Кузнецов А.А. Определение технической и эксплуатационной производительностей дорожных машин на основе анализа объёмов работ // *Научно-технический вестник Брянского государственного университета*. 2021. №1. С. 38-52.
10. Шиловский В.Н., Гольштейн Г.Ю. Методические основы обоснования мощностей объекта технического сервиса // *Resources and Technology*. 2020. Т. 17. №4. С. 95-106.
11. Бойко Н.Е., Лобырев С.С. Система управления ремонтной службой автотранспортного предприятия // *Инновационно-промышленный потенциал развития экономики регионов: Материалы IV-й Международной научно-практической конференции*. Брянск. 2017. С. 538-541.
12. Магруппова З.М., Баранова Е.В. Повышение эффективности системы управления затратами на автотранспортном предприятии // *Вестник Череповецкого государственного университета*. 2010. №4(27). С. 90-94.
13. Нгендакумана М., Ременцов А.Н. К вопросу оценки надежности автомобилей, выполняющих пассажирские перевозки в Бурунди // *Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)*. 2021. №1(64). С. 91-99.

14. Тузов Н.С., Попов Е.В. Техническая подготовка производства технического обслуживания и ремонта автобусов - основа эффективности // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. 2019. Т. 1. №3. С. 216-220.

15. Шипов Н.В., Максимов В.А., Поживилов Н.В. Применение планово-предупредительного ремонта при эксплуатации линейных городских автобусов // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2021. №1. С. 77-83.

16. Пестриков С.А., Шумков А.Г. Методика оценки эффективности организации технического обслуживания и ремонта на примере транспортного подразделения филиала ОАО «МРСК Урала» - «Пермэнерго» // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Социально-экономические науки. 2019. №1. С. 233-244.

17. Халиуллин Ф.Х., Яковлев Р.А., Матяшин А.В. [и др.] Влияние технического состояния автотранспортных средств на периодичность их обслуживания // Инновации и инвестиции. 2021. №7. С. 170-174.

18. Крючков Е.Ю., Кабикенов С.Ж., Интыков Т.С. Разработка паспорта планово-предупредительной системы проведения ТО и ТР для автобусов YUTONG на примере ТОО «Автобусный парк №3» г. Караганды // Труды университета. 2020. №3(80). С. 97-101.

19. Новиков А.Н., Загородний Н.А., Дуганова Е.В., Новиков И.А. Совершенствование системы автосервисного обслуживания для повышения безопасности дорожного движения // Мир транспорта и технологических машин. 2022. №1(76). С. 86-94.

Денисов Александр Сергеевич

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

Адрес: 410054, Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

Д.т.н., профессор кафедры «Организация перевозок, безопасность движения и сервис автомобилей»

E-mail: denisov0307@yandex.ru

Феклин Евгений Викторович

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

Адрес: 410054, Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

К.э.н., доцент, доцент кафедры «Организация перевозок, безопасность движения и сервис автомобилей»

E-mail: feklin_2013@mail.ru

A.S. DENISOV, E.V. FEKLIN

METHODOLOGY OF INCREASE OF EFFICIENCY OF TECHNICAL SERVICE OF CITY BUSES

Abstract. *The article substantiates the relevance of research in the direction of improving the system of technical service and repair of the rolling stock of urban passenger transport within the megacity in order to increase the efficiency and safety of passenger transportation. The indicators of passenger enterprises equipment with production and technical base are presented. It is suggested to use the conceptual scheme of the «hub» principle as the basis of the proposed system. The place of the elements of the production and technical base of road transport in view of their emergent and synergetic factors of the transport-technological complex is described. Optimization indicators of concentration and centralization levels of bus technical service are presented. The scheme of the regional system of technical service of buses is offered. The efficiency of variants of improvement of production and technical base of technical service of city buses is compared.*

Keywords: *maintenance and repair, production and technical base, efficiency, centralization, cooperation, bus, technical availability coefficient, fleet utilization coefficient*

BIBLIOGRAPHY

1. Baskov V., Ignatov A., Polotnyanshikov V. Assessing the influence of operating factors on the properties of engine oil and the environmental safety of internal combustion engine // Transportation Research Procedia. 14. Saint Petersburg. 2020. Vol. 50. P. 37-43.

2. Baskov V., Denisov A., Ignatov A., Isaeva E. Mechanism for assessing the adaptation of motor vehicles to operation in the Arctic zone of the Russian Federation // Transportation Research Procedia. St. Petersburg. 2021. Vol. 57. P. 56-62.

3. Grayevskiy I., Marusin A. CDF simulation-based research of influence of mechanical defects in nozzles on environmental parameters of automotive diesel engines // Transportation Research Procedia. 14. Saint Petersburg. 2020. Vol. 50. P. 182-191.

4. 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.
5. Boyko N.E., Kalinina E.A. Povyshenie effektivnosti funktsionirovaniya avtotransportnogo predpriyatiya na baze sistemnogo podkhoda k upravleniyu sluzhboy remonta // *Vestnik Volzhskogo universiteta im. V.N. Tatishcheva*. 2019. T. 2. №1. S. 49-59.
6. Ignatov A.V., Baskov V.N. Integral'naya otsenka protsessa ekspluatatsii mashinno-traktornogo parka // *Nauchnoe obozrenie*. 2011. №6. S. 92-97.
7. Baskov V.N., Ignatov A.V. Vliyanie rezhimov raboty DVS na zagryaznenie okruzhayushchey sredy // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2018. №3(62). S. 112-118.
8. Chernyaev I.O., Vorob'ev S.A., Evtyukov S.A. Sposob operativnoy individual'noy korrektyrovki periodichnosti tekhnicheskogo obsluzhivaniya avtotransportnykh sredstv // *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2020. №2(79). S. 202-207.
9. Grushetskiy S.M., Evtyukov S.A., Repin S.V., Kuznetsov A.A. Opredelenie tekhnicheskoy i ekspluatatsionnoy proizvoditel'nostey dorozhnykh mashin na osnove analiza ob"iomov rabot // *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2021. №1. S. 38-52.
10. Shilovskiy V.N., Gol'shteyn G.YU. Metodicheskie osnovy obosnovaniya moshchnostey ob"ekta tekhnicheskogo servisa // *Resources and Technology*. 2020. T. 17. №4. S. 95-106.
11. Boyko N.E., Lob'yev S.S. Sistema upravleniya remontnoy sluzhboy avtotransportnogo predpriyatiya // *Innovatsionno-promyshlennyy potentsial razvitiya ekonomiki regionov: Materialy IV-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Bryansk. 2017. S. 538-541.
12. Magrupova Z.M., Baranova E.V. Povyshenie effektivnosti sistemy upravleniya zatratami na avtotransportnom predpriyatii // *Vestnik Cherepovetskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2010. №4(27). S. 90-94.
13. Ngendakumana M., Rementsov A.N. K voprosu otsenki nadezhnosti avtomobiley, vypolnyayushchikh passazhirskie perevozki v Burundi // *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI)*. 2021. №1(64). S. 91-99.
14. Tuzov N.S., Popov E.V. Tekhnicheskaya podgotovka proizvodstva tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta avtobusov - osnova effektivnosti // *Dal'niy Vostok: problemy razvitiya arkhitekturno-stroitel'nogo kompleksa*. 2019. T. 1. №3. S. 216-220.
15. Shipov N.V., Maksimov V.A., Pozhivilov N.V. Primenenie planovo-predupreditel'nogo remonta pri ekspluatatsii lineynykh gorodskikh avtobusov // *Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya*. 2021. №1. S. 77-83.
16. Pestrikov S.A., Shumkov A.G. Metodika otsenki effektivnosti organizatsii tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta na primere transportnogo podrazdeleniya filiala OAO «MRSK Urala» - «Permenergo» // *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Sotsial'no-ekonomicheskie nauki*. 2019. №1. S. 233-244.
17. Haliullin F.H., Yakovlev R.A., Matyashin A.V. [i dr.] Vliyanie tekhnicheskogo sostoyaniya avtotransportnykh sredstv na periodichnost' ikh obsluzhivaniya // *Innovatsii i investitsii*. 2021. №7. S. 170-174.
18. Kryuchkov E.YU., Kabikenov S.ZH., Intykov T.S. Razrabotka pasporta planovo-predupreditel'noy sistemy provedeniya TO i TR dlya avtobusov YUTONG na primere TOO «Avtobusnyy park №3» g. Karagandy // *Trudy universiteta*. 2020. №3(80). S. 97-101.
19. Novikov A.N., Zagorodniy N.A., Duganova E.V., Novikov I.A. Sovershenstvovanie sistemy avtoservisnogo obsluzhivaniya dlya povysheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2022. №1(76). S. 86-94.

Denisov Alexander Sergeevich

State Technical University of Saratov
Adress: 410054, Russia, Saratov, Politechnicheskaya str.
Doctor of technical sciences
E-mail: denisov0307@yandex.ru

Feklin Evgeny Viktorovich

State Technical University of Saratov
Adress: 410054, Russia, Saratov, Politechnicheskaya str.
Candidate of Economic Sciences
E-mail: feklin_2013@mail.ru

Научная статья

УДК 656.13

doi:10.33979/2073-7432-2024-3-1(86)-51-57

Н.В. ПОДОПРИГОРА, М.С. ПРИСЯЖНЮК

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ГОРОДСКИХ АВТОБУСОВ

Аннотация. Статья посвящена обновлению парка городских пассажирских автобусов в регионах России в рамках принятых государственных стратегий и программ. Рассматриваются проблемы народно-хозяйственного значения, связанные с повышением надежности автобусов и безопасности их эксплуатации.

Цель написания работы – публикация предложений по повышению надежности городских маршрутных автобусов.

Научная новизна заключается в формировании перечня требований, предъявляемых к вновь создаваемым машинам, на основе анализа опытной эксплуатации городских автобусов в Санкт-Петербурге, поставляемых в рамках реализации транспортной реформы. Предлагаются методы повышения надежности автобусов на этапе их проектирования посредством применения традиционного математического аппарата.

Ключевые слова: автобус, общественный транспорт, надежность, эксплуатация, техническое состояние

Введение

Обновление подвижного состава автобусных предприятий, осуществляющих городские пассажирские перевозки - одна из приоритетных задач страны. Устаревающий парк машин многих регионов России перестает отвечать как требованиям конструктивной безопасности, согласно действующей нормативно-технической документации, так и современным тенденциям по обеспечению комфорта и безопасности пассажиров. Данная проблема является одной из ключевых в транспортной отрасли Российской Федерации [1-4].

17 августа 2023 года на заседании Президиума Госсовета по вопросам развития общественного транспорта президент России В.В. Путин подчеркнул, что «системная задача государства заключается в обеспечении ежегодного снижения среднего возраста общественного транспорта во всех субъектах. Общественный транспорт во всех регионах страны должен не ветшать, а молодеть».

Согласно статистическим данным аналитического агентства «АВТОСТАТ», по итогам марта 2024 года в Российской Федерации продан 2131 автобус, что составило на 50% больше, чем в марте минувшего года. Абсолютным лидером продаж стал отечественный производитель автобусов марки «ПАЗ», достигший показателя в 1167 ед. С существенным отставанием вторую строчку рейтинга занял также российский производитель «НЕФАЗ» - 188 ед. Третья позиция досталась китайскому производителю «Yutong» с показателем в 169 ед. Остальные позиции в рейтинге продаж заняли отечественные производители: «ЛиАЗ» – 152 ед.; «Волгабас» – 124 ед.; «КАВЗ» - 103 ед.

Проведенный авторами анализ показал, что нынешние темпы обновления подвижного состава, в рамках реализации государственных стратегий, не в достаточной мере удовлетворяют потребности населения многих субъектов Российской Федерации. Актуальными проблемами для автобусных парков продолжают оставаться дефицит и качество запчастей/комплектующих, увеличенные сроки их поставок и, как следствие, увеличенное время простоя машин в зоне технического обслуживания и ремонта (ТО и Р). В результате этого автобус своевременно не выходит на рейс, и ему нужно искать замену. Это создает дополнительные трудности для перевозчиков, которые рискуют получить штраф за нарушение условий контракта на перевозку пассажиров. С учетом освоения новых территорий, восстановления и строительства новой маршрутной сети городского пассажирского транспорта на территории ЛНР и ДНР, возникает потребность в увеличении качественных, надежных и безопасных автобусов различного класса как социально значимого объекта эксплуатации и вида деятельности.

Достижение требуемого уровня качества и надежности вновь создаваемых автобусов представляется возможным путем применения традиционного математического аппарата, использования эффективных конструкционных материалов, высоких технологий в процессах изготовления, сборки, испытаний. Такие меры способствуют существенному улучшению реализации принятых государственных стратегий по обновлению автобусного парка страны [5-7].

Материал и методы

Обновление городского пассажирского транспорта страны проходит в рамках утвержденных государственных стратегий, в которых затрагивается как сфера организации безопасности дорожного движения (ОБДД), так и цифровая трансформация транспортной отрасли Российской Федерации (рис. 1) [1, 2, 8].

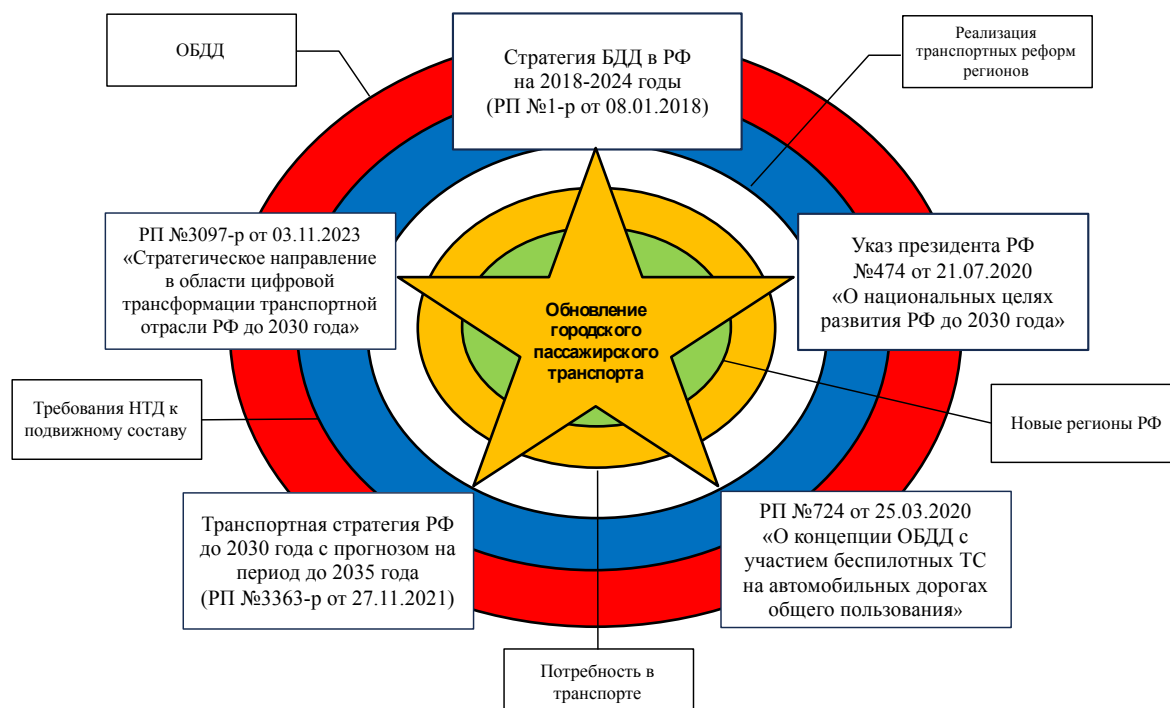


Рисунок 1 – Структура обновления подвижного состава автобусного парка Российской Федерации

По статистическим данным аналитического агентства «АВТОСТАТ» и Национального агентства промышленной информации, на конец 2023 года и начало 2024 года, в России насчитывалось свыше 460 тысяч автобусов, из них 135 тысяч машин, работающих в системе общественного транспорта. Свыше 40 % из этого числа составляют автобусы старше 20 лет, 14 % составляют транспортные средства (ТС) от 16 до 20 лет, 18 % - ТС в возрасте от 11 до 15 лет, 30 % - ТС не старше 10 лет. Однако, статистика регионов Российской Федерации, согласно открытым информационным источникам, показывает, что средний возраст автобусного парка в стране составляет 8 лет. Свыше 41 тысячи машин продолжают эксплуатироваться за пределами сроков своей службы.

Современный автобус представляет собой достаточно сложное техническое устройство. Если 50 лет назад он был оснащен несколькими основными агрегатами с простым устройством, то сегодня его конструкция стала значительно более сложной и энергоемкой. Помимо электронных систем зажигания, впрыска топлива, гидро-, электро-, пневматических устройств, ее оснащают штатными бортовыми и удаленными системами управления работой узлов и агрегатов, позволяющими осуществлять их технический контроль, диагностирование в режиме реального времени. Такие сложные системы и устройства могут включать в себя до 15 – 20 тысяч деталей, требующих обеспечения надежной работы машины в течение всего заданного ей ресурса [5-7].

С позиции оценки надежности таких систем стоит выделить как положительные, так и отрицательные свойства. К положительным можно отнести следующие:

- они способны выполнять функции самостоятельного управления, регулирования и приспособления к работе конструктивных систем (узлов/агрегатов) в различных условиях эксплуатации, что позволяет в целом повысить их эффективность;

- не все конструктивные системы (узлы/агрегаты) автобуса могут являться равнопрочными и одинаково влиять на его надежность.

Из отрицательных свойств усложнения конструкции автобуса стоит отметить, что при отказе хотя бы одной конструктивной системы (узла/агрегата) может произойти отказ всей машины, и чем конструктивно сложнее устройство, тем ниже показатель его надежности. Отсюда возникает противоречие. С одной стороны, современный уровень научно-технического прогресса задает тенденцию к усложнению конструкции автобуса, а с другой стороны, любое усложнение его конструкции неминуемо снижает ее надежность.

В качестве примера авторами анализируется опыт эксплуатации новых «лазурных» автобусов предприятиями Санкт-Петербурга. Согласно открытым информационным источникам, в Северной столице за 2023 год произошло 12 возгораний автобусов на 5000 единиц подвижного состава (рис. 2).



Рисунок 2 – Возгорание городских автобусов в Санкт-Петербурге

Для решения данного вопроса потребовалось значительное время и участие не только специалистов инженерно-технических служб предприятий-перевозчиков, но и независимых специалистов/экспертов, конструкторов заводов-изготовителей автобусов. Причина возгорания, как было установлено позже, была связана с попаданием гидравлической жидкости из системы гидропривода вентилятора на нагретые участки двигателя внутреннего сгорания.

Проведенные авторами исследования позволили установить причины большинства неисправностей в поставляемых «лазурных» автобусах на начальном(гарантийном) периоде их эксплуатации - низкое качество комплектующих. Очевидно, что их оценка не была произведена заводом-изготовителем на должном уровне до ввода машин в эксплуатацию, и/или новые образцы подвижного состава не прошли должных испытаний на исследуемых нагрузочных режимах. Возникшие трудности с поставками импортных комплектующих из третьих стран, высокая загруженность заводов-изготовителей автобусов существенно повлияли на сроки устранения неисправностей.

Теория / Расчет

Решение проблемы, с которой столкнулись перевозчики в Санкт-Петербурге лежит в плоскости повышения надежности составных частей автобусов за счет применения эффективных конструкционных материалов и высоких технологий в процессах изготовления, сборки и испытания новых моделей автобусов. Как показывает опыт эксплуатации транспортных средств (ТС), поддержание их надежности и работоспособного состояния требует существенных затрат. Эксплуатационные расходы на одну машину, ее техническое обслуживание и ремонт (ТО и Р) суммарно (в 5 – 10 раз) могут превышать средства, которые затрачиваются на ее изготовление. В подобной ситуации, представляется целесообразным выбор стратегии по повышению надежности вновь создаваемых автобусов, позволяющей суще-

ственно сократить указанные выше затраты и усовершенствовать систему ТО и Р подвижного состава [5-7].

Следовательно, производство надежных и конкурентоспособных автобусов является стратегически важной составляющей для всей экономики страны, и это приобретает для нее первостепенное значение. Разрабатываемые методы повышения качества и надежности подвижного состава должны иметь общую направленность для всех ТС, а именно: обладать специфическими особенностями; отвечать современным тенденциям и соответствовать уровню научно-технического прогресса; учитывать конструктивное исполнение, назначение и предъявляемые требования в рамках действующих на территории Таможенного союза нормативно-технических документов. Уровень надежности конструктивных систем (узлов/агрегатов) вновь производимых автобусов должен быть таким, чтобы при их использовании в любых оговоренных технических условиями (ТУ) ситуациях не нарушалась их работоспособность, т.е. не возникало отказов [9-12]. Такие образцы подвижного состава должны иметь необходимый запас надежности, позволяющий повысить сопротивляемость экстремальным воздействиям, ситуациям, когда автобус работает в условиях, не предусмотренных ТУ.

Запас надежности необходимо учитывать и для обеспечения работоспособности конструктивных систем ТС, в том числе, и при их эксплуатационном износе. Как известно, он способен привести к постепенному ухудшению технических характеристик самого ТС. Следовательно, чем выше будет показатель запаса надежности, тем дольше при прочих равных условиях машина будет находиться в работоспособном состоянии [5-9].

При корректировке показателя надежности взятого за основу прототипа с учетом совершенствования производства допускается возникновение двух ситуаций:

- проектируемая машина имеет сходство с прототипом практически по всем признакам;
- проектируемая машина отличается от прототипа принципом работы каких-либо систем, сложностью, назначением и др.

В первом случае, экстраполирование изменений показателя надежности по году выпуска машины производится в целом. Во втором случае производится расчет надежности с экстраполированием интенсивностей отказов элементов по году выпуска машины.

При перерасчете показателя надежности прототипа на условия применения проектируемого автобуса необходимо вычислять коэффициент условия применения k_y , который равен отношению значения показателя надежности рассматриваемой модели автобуса (узла/агрегата) к показателю надежности прототипа. Выполнить такой пересчет можно различными методами, один из которых заключается в использовании гипотезы Н.М. Седякина о ресурсе надежности изделия [6].

Руководствуясь предложенной гипотезой, в качестве функции ресурса автобуса(узла/агрегата) рассмотрим выражение (1):

$$R(t) = -\ln p(t) = \int_0^t \lambda(\tau) d\tau \quad (1)$$

Вероятность безотказной работы любой рассматриваемой конструктивной системы (узла/агрегата) в условиях ε будет зависеть от величины выработанного ей ресурса R и не будет зависеть от того, как выработан этот ресурс. Если задать продолжительность наработки t_1 и t_2 в двух различных режимах ε_1 и ε_2 , то из интегрального соотношения:

$$R(t) = \int_0^{t_1} \lambda(\tau/\varepsilon_1) d\tau = \int_0^{t_2} \lambda(\tau/\varepsilon_2) d\tau, \quad (2)$$

можем вычислить $t_2 = \varphi(t_1)$ и определить значения функции надежности:

$$p(t_1 + \Delta t) = \exp \left[- \int_0^{t_2 + \Delta t} \lambda(\tau/\varepsilon_2) d\tau \right]. \quad (3)$$

Показатель надежности проектируемого автобуса можно вычислить как:

$$\lambda = k_{т.х} k_{т.п} k_c k_y \lambda_0. \quad (4)$$

где $k_{т.х}$ – коэффициент, учитывающий технические характеристики;

$k_{т.п}$ – коэффициент технического прогресса;

k_c – коэффициент серии;

k_y – коэффициент условий применения;

λ_0 – показатель надежности прототипа [6].

Далее необходимо уточнить показатель надежности изготавливаемого автобуса (узла/агрегата) с учетом проведения различных нововведений по повышению его надежности [13-15].

Применяя методику В.Н. Фомина, можно определить технико-экономический эффект от предлагаемых мероприятий по повышению надежности. Суммарный экономический эффект E от эксплуатации автобуса, будет зависеть от его себестоимости s , показателей надежности R_1, \dots, R_n и технико-экономических показателей $\gamma_1, \dots, \gamma_n$ эксплуатации автобуса, а именно:

$$E = \varphi_1(s; \gamma_1, \dots, \gamma_n; R_1, \dots, R_n). \quad (5)$$

Себестоимость зависит от надежности, поэтому:

$$E = \varphi_2(s; \gamma_1, \dots, \gamma_n; R_1, \dots, R_n). \quad (6)$$

Зная, что суммарный технико-экономический эффект от эксплуатации автобуса должен учитывать разновременность производственных и эксплуатационных затрат, то имеет смысл рассматривать приведенный к определенному моменту времени показатель суммарного эксплуатационного эффекта, а именно:

$$E_{\pi} = \varphi_3(s; \gamma_1, \dots, \gamma_n; R_1, \dots, R_n). \quad (7)$$

Выбранные значения показателей надежности должны обеспечивать максимальное значение E_{π} .

При практическом применении методики В.Н. Фомина для каждого мероприятия по повышению надежности можно определить величину ΔE_{π} :

$$\Delta E_{\pi} = E_{\pi_i} - E_{\pi}^0, \quad (8)$$

где E_{π}^0 – средний приведенный эффект для некоторого исходного варианта прототипа автобуса;

E_{π_i} – средний приведенный эффект для этого прототипа с учетом проводимого i -го мероприятия.

После определяется мероприятие, которое будет обеспечивать максимальное приращение ΔE_{π_i} . Вариант прототипа автобуса с осуществлением этого мероприятия следует принимать как исходный, а описанный процесс повторять вновь и т.д. Вычисления необходимо выполнять до тех пор, пока $\Delta E_{\pi_i} > 0$, а за оптимальные значения показателей надежности принимать те, которые были достигнуты на предыдущем этапе вычислений.

Результаты и обсуждение

Обосновывать количественные требования (нормы) по надежности или другим эксплуатационным свойствам к вновь производимым автобусам стоит лишь после рассмотрения соответствующих характеристик уже существующих машин.

При составлении требований по надежности к проектируемым автобусам (узлам/агрегатам) следует экстраполировать изменение показателя надежности вплоть до момента изготовления новой машины. Для этого потребуется знать не только надежность взятого прототипа автобуса, но и надежность производимого ранее и в разное время аналогичного образца.

Выводы

Предложенные авторами методы повышения качества и надежности вновь создаваемых автобусов посредством применения традиционного математического аппарата, эффективных конструкционных материалов, высоких технологий в процессах изготовления, сборки и испытания способствуют существенному улучшению реализации принятых государственных стратегий по обновлению подвижного состава парка Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. 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.
3. ТР ТС 018/2011 О безопасности колесных транспортных средств; утв. Решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011г. №877.
4. ГОСТ Р 33997-2016. Колесные транспортные средства. Требования к безопасности в эксплуатации и методы проверки. М.: Стандартинформ, 2018.
5. Кузнецов Е.С., Болдин А.П., Власов В.М. и др. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и дополн. М.: Наука, 2001. 551 с.
6. Дружинин Г.В. Процессы технического обслуживания автоматизированных систем. М.: Энергия, 1973. 272 с.
7. Глазков В.Ф., Евтюков С.А. Основы теории надежности, работоспособности и диагностики машин: Учебное пособие для студентов, обучающихся по направлениям бакалавров и магистров на автомобильном транспорте. СПб.: Издательский Дом «Петрополис», 2011. 450 с.
8. Присяжнюк М.С., Подопригра Н.В., Терентьев А.В. Моделирование эффективных инструментов организации пассажирских перевозок в Ленинградской области // Грузовик. 2023. №10. С.50-55. DOI: 10.36652/1684-1298-2023-10-50-55.
9. Подопригра Н.В., Васильев Я.В. Модели управления эксплуатационной надежностью высокоавтоматизированных транспортных средств // Грузовик. 2023. №8. С.20-24. DOI: 10.36652/1684-1298-2023-8-20-24.
10. 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.
11. Терентьев А.В., Карелина М.Ю., Клименко В.А. Анализ методов определения показателей технической эксплуатации автомобилей // Мир транспорта и технологических машин. 2021. №3(74). С. 3-8. DOI: 10.33979/2073-7432-2021-74-3-3-8.
12. Жилейкин М.М., Котиев Г.О. Моделирование систем транспортных средств: учебник. Москва: МГТУ им Н.Э. Баумана, 2020. 239 с.
13. Тайсаев К.К., Терентьев А.В., Жихарева С.А. Метод определения эффективности автобусов на основе интегрированной оценки показателей технической и коммерческой эксплуатации // Вестник гражданских инженеров. 2022. №1(90). С.143-147. DOI: 10.23968/1999-5571-2022-19-1-143-147.
14. Терентьев А.С., Рембалович 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. 2019. №5. С 111-113.
15. 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.

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.podoprigora@gmail.com

Присяжнюк Михаил Сергеевич

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

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

Соискатель

E-mail: msprisyazhnuk@yandex.ru

N.V. PODOPRIGORA, M.S. PRYSYAZHNYUK

METHODS TO IMPROVE THE RELIABILITY OF CITY BUSES

Abstract. The article is devoted to the renewal of the fleet of city passenger buses in the Russian regions within the framework of the adopted state strategies and programs. It considers the problems of national and economic importance associated with improving the reliability of buses and safety of their operation.

The purpose of writing the paper is to publish proposals to improve the reliability of urban

route buses.

The scientific novelty consists in the formation of the list of requirements to the newly created machines on the basis of the analysis of the experimental operation of the city buses in St. Petersburg, supplied within the framework of the implementation of the transport reform. The methods of buses reliability improvement at the stage of their design by means of application of traditional mathematical apparatus are proposed.

Keywords: bus, public transportation, reliability, operation, technical condition

BIBLIOGRAPHY

1. Kravchenko P.A., Oleshchenko E.M. Sistemnyi podkhod v upravlenii bezopasnost'yu dorozhnogo dvizheniya v Rossiyskoy Federatsii // Transport Rossii?skoi? Federatsii. 2018. №2(75). S. 14-18.
2. Kravchenko P.A., ZHankaziev C.V., Oleshchenko E.M. Pofaktornoe upravlenie urovnem obespechivaemoy bezopasnosti na dorogakh Rossii // Transport Rossiyskoy Federatsii. 2021. №5-6(96-97). S. 3-9.
3. TR TS 018/2011 O bezopasnosti kolesnykh transportnykh sredstv; utv. Resheniem Komissii Tamozhennogo soyuza ot 9 dekabrya 2011g. №877.
4. GOST R 33997-2016. Kolesnye transportnye sredstva. Trebovaniya k bezopasnosti v ekspluatatsii i metody proverki. M.: Standartinform, 2018.
5. Kuznetsov E.S., Boldin A.P., Vlasov V.M. i dr. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya avtomobiley: Uchebnik dlya vuzov. 4-e izd., pererab. i dopoln. M.: Nauka, 2001. 551 s.
6. Druzhinin G.V. Protssy tekhnicheskogo obsluzhivaniya avtomatizirovannykh sistem. M.: Energiya, 1973. 272 s.
7. Glazkov V.F., Evtyukov S.A. Osnovy teorii nadezhnosti, rabotosposobnosti i diagnostiki mashin: Uchebnoe posobie dlya studentov, obuchayushchikhsya po napravleniyam bakalavrov i magistrav na avtomobil'nom transporte. SPb.: Izdatel'skiy Dom «Petropolis», 2011. 450 s.
8. Prisyazhnyuk M.S., Podoprighora N.V., Terent'ev A.V. Modelirovanie effektivnykh instrumentov organizatsii passazhirskikh perevozok v Leningradskoy oblasti // Gruzovik. 2023. №10. S.50-55. DOI: 10.36652/1684-1298-2023-10-50-55.
9. Podoprighora N.V., Vasil'ev YA.V. Modeli upravleniya ekspluatatsionnoy nadezhnost'yu vysokoavtomatizirovannykh transportnykh sredstv // Gruzovik. 2023. №8. S.20-24. DOI: 10.36652/1684-1298-2023-8-20-24.
10. 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.
11. Terent'ev A.V., Karelina M.YU., Klimenko V.A. Analiz metodov opredeleniya pokazateley tekhnicheskoy ekspluatatsii avtomobiley // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2021. №3(74). S. 3-8. DOI: 10.33979/2073-7432-2021-74-3-3-8.
12. ZHileykin M.M., Kotiev G.O. Modelirovanie sistem transportnykh sredstv: uchebnik. Moskva: MGTU im N.E. Bauman, 2020. 239 s.
13. Taysaev K.K., Terent'ev A.V., ZHikhareva S.A. Metod opredeleniya effektivnosti avtobusov na osnove integrirovannoy otsenki pokazateley tekhnicheskoy i kommercheskoy ekspluatatsii // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2022. №1(90). S.143-147. DOI: 10.23968/1999-5571-2022-19-1-143-147.
14. 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. 2019. №5. S 111-113.
15. 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 perevozok avtomobil'nyim transportom // Transportnoe delo Rossii. 2019. №4. S. 66-70.

Podoprighora Nikolay Vladimirovich

St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

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

Candidate of technical sciences

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

Prisyazhnyuk Mikhail Sergeevich

St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

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

Applicant

E-mail: msprisyazhnyuk@yandex.ru

Научная статья

УДК 656.13

doi:10.33979/2073-7432-2024-3-1(86)-58-66

А.А. ЗЕРНОВ, Д.Г. БЛИНОВ, С.А. ГУСЕВ

МОДИФИКАТОРЫ ТРЕНИЯ В СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛАХ – ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ДВС

Аннотация. В настоящий момент энергоэффективность является одним из ключевых факторов развития технологий. Особое внимание уделяется двигателям внутреннего сгорания (ДВС), которые активно используются в различных отраслях промышленности и транспорте. Поскольку на преодоление трения расходуется до четверти потребляемых энергоресурсов, одним из перспективных инструментов повышения энергоэффективности этих двигателей является использование модификаторов трения в смазочных материалах.

В статье рассмотрены основные типы антифрикционных добавок с кратким описанием механизмов их действия, основных преимуществ и недостатков, проведено испытание наиболее распространенных модификаторов трения различной природы в составе масла 10w-40 API CI-4 на машине трения 2070 СМТ-1 и количественно показано различие в эффективности выбранных присадок, сделаны выводы о наиболее эффективных добавках и дозировках ввода, а также факторах, ограничивающих ввод лиофильных молибденовых модификаторов.

Ключевые слова: органические модификаторы трения, молибденовые присадки, дисульфид молибдена, энергоэффективность ДВС, энергосберегающие моторные масла, 2070 СМТ-1

Введение

В современном мире вопрос повышения энергоэффективности стоит перед промышленностью и автомобильной отраслью как никогда остро. В условиях растущей зависимости от топливных ресурсов, нестабильности цен на нефть и строгих экологических требований, поиск новых методов снижения энергопотребления и оптимизации работы двигателей становится необходимостью.

Двигатели внутреннего сгорания (ДВС) широко используются в автомобильной, сельскохозяйственной, морской, аэрокосмической и промышленной технике благодаря своей надежности, компактности и высокой мощности. Энергоэффективность двигателя внутреннего сгорания – это отношение полезной работы, которую выполняет двигатель, к количеству энергии (топливу), которое было затрачено на его работу. Иными словами, это степень эффективности использования энергии топлива во время работы двигателя. Повышение энергоэффективности двигателя может быть достигнуто путем оптимизации его конструкции, применения более эффективных материалов, совершенствования процессов сгорания топлива и использования альтернативных видов топлива и смазочных материалов. Даже с учетом технологических прорывов последних десятилетий, эффективность ДВС остается недостаточно высокой из-за различных факторов, одним из которых являются потери энергии в виде трения между контактирующими поверхностями.

Материал и методы

Согласно литературным данным, доля данных потерь может достигать до 20-25 % от всего сжигаемого топлива [1, 2]. Эти потери энергии приводят к неэффективному использованию невозобновляемых ресурсов, увеличению расходов на обслуживание используемой техники, а также негативному воздействию на окружающую среду. Один из методов решения данной проблемы заключается в оптимизации реологии жидких смазочных материалов с целью минимизации гидродинамических потерь, фактически это часто означает снижение вязкости масла до минимально возможного значения, обеспечивающего наличие непрерывного слоя смазочного материала между трущимися поверхностями.

© А.А. ЗЕРНОВ, Д.Г. БЛИНОВ, С.А. ГУСЕВ, 2024

Другой подход заключается в добавлении в смазочный материал небольших количеств присадок-модификаторов трения для снижения коэффициента трения в граничном и смешанном режимах трения (рис. 1, области II и I). На практике оба этих подхода лучше всего применять одновременно, поскольку по мере постепенного снижения вязкости смазочного материала контакты разделяются все более тонкими гидродинамическими пленками и поэтому все чаще работают в режимах, в которых эффективны присадки-модификаторы трения.

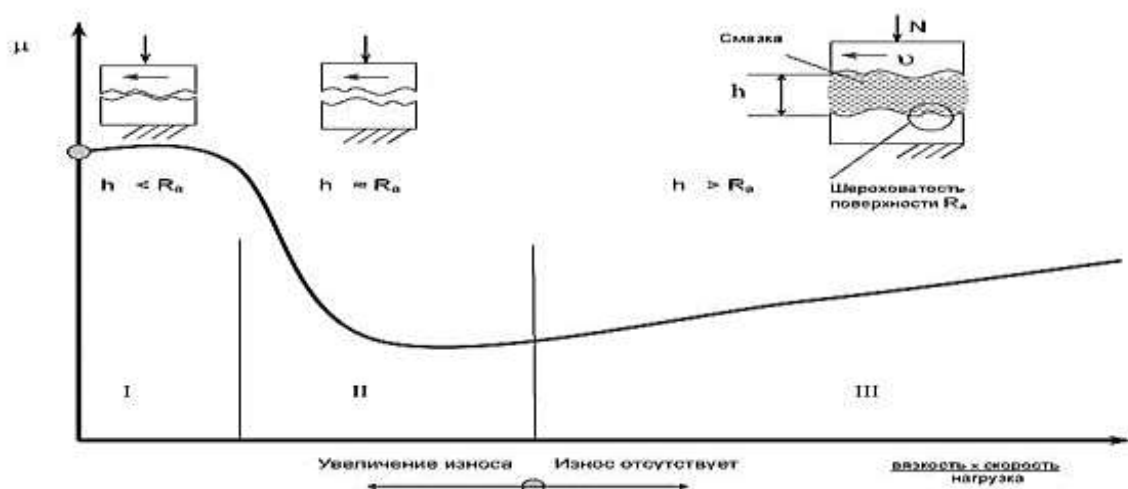


Рисунок 1 – кривая Герси-Штрибека, выражающая зависимость коэффициента трения μ от режима трения (I – граничный, II – смешанный, III – гидродинамический), связанного с вязкостью, скоростью – v и нагрузкой – N

С учетом вышесказанного модификаторы трения для смазочных материалов привлекают все большее внимание как перспективный инструмент для улучшения энергоэффективности двигателей внутреннего сгорания.

Модификаторы трения как класс химических добавок для снижения коэффициента трения известны научному сообществу уже около ста лет, Ленгмюр еще в 1920 году описал осаждение монослоя олеиновой кислоты на поверхности стекла и его существенное влияние на снижение трения [3], а в 1922 году Харди показал, что жирные кислоты и спирты вызывают постепенное снижение трения на стеклянных и стальных поверхностях, по мере увеличения длины их углеводородной цепочки [4]. Харди предположил, что снижение трения достигается за счет вертикально ориентированных одиночных монослоев этих поверхностно-активных веществ на каждой поверхности, и ввел понятие «граничная смазка». Таким образом, к началу 1920-х годов были разработаны как концепция, так и механизм действия органических модификаторов трения - адсорбция из раствора или "самосборка" на твердых поверхностях, также было установлено, что скольжение происходит в плоскости с наименьшей силой сдвига.

С тех пор высокая антифрикционная активность была обнаружена у достаточно широкого круга химических соединений, которые можно разделить на четыре большие группы:

- органические модификаторы трения;
- дисперсные наночастицы;
- органорастворимые молибденсодержащие соединения;
- функционализированные полимеры.

Органические модификаторы трения представляют собой беззольные (не содержащие металлов), мономерные амфифильные органические соединения с поверхностно-активными свойствами (рис. 2), например, жирные карбоновые кислоты, но чаще всего их менее коррозионно активные производные – эфиры и амиды, в том числе и функционализированные олигомерными оксидами этилена/пропилена.

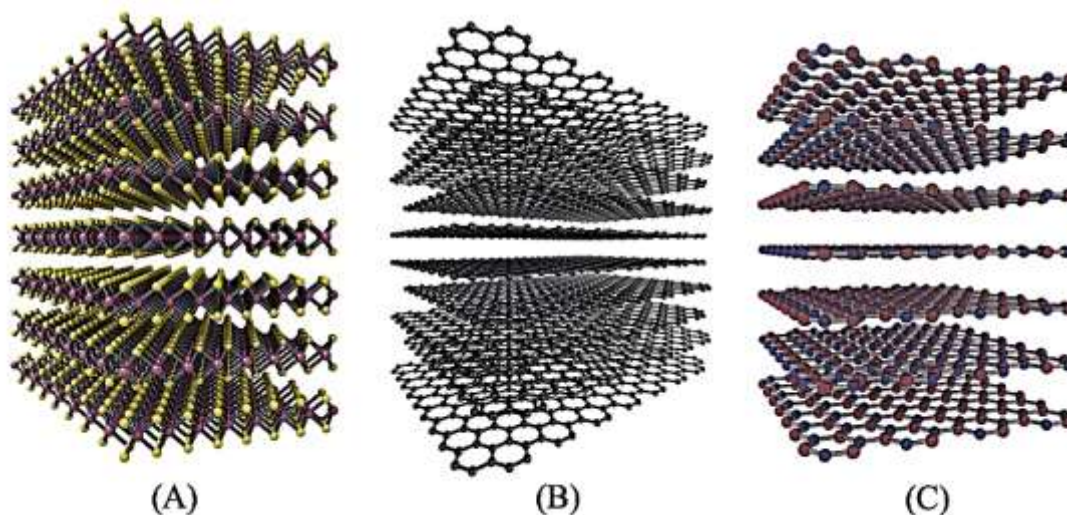


Рисунок 4 – структура наноразмерных кристаллических модификаторов трения:
 А – дисульфид молибдена (MoS_2), В – графит (C), С – нитрид бора (BN)

Таблица 1 – Сравнение характеристик наноразмерных модификаторов трения.

Модификатор	Дисульфид молибдена	Графит	Тефлон	Нитрид бора
Коэффициент трения	++	+	+	++
Термическая стойкость	+	+	-	++
Химическая инертность	-	+	++	+
Антиокислительные свойства	++	-	-	+
Стоимость	--	+	-	---

Несмотря на выдающиеся антифрикционные характеристики, все наноразмерные кристаллические модификаторы трения имеют общий недостаток – седиментацию из объема жидкого смазочного материала с течением времени по причине отсутствия какой-либо лиофильности. Для решения данной проблемы еще в 60-х годах прошлого века были разработаны маслорастворимые соединения молибдена [9]. Первым наиболее детально исследованным модификатором данного типа был диалкилдитиофосфат молибдена (MoDDP), на данный момент помимо MoDDP широко распространены диалкилдитиокарбамат молибдена (MoDTC), а также молибденсодержащие комплексные соединения сложных эфиров многоатомных спиртов, жирных амидов, имидов, алкоксилированных аминных производных (рис. 5) и др. [10].

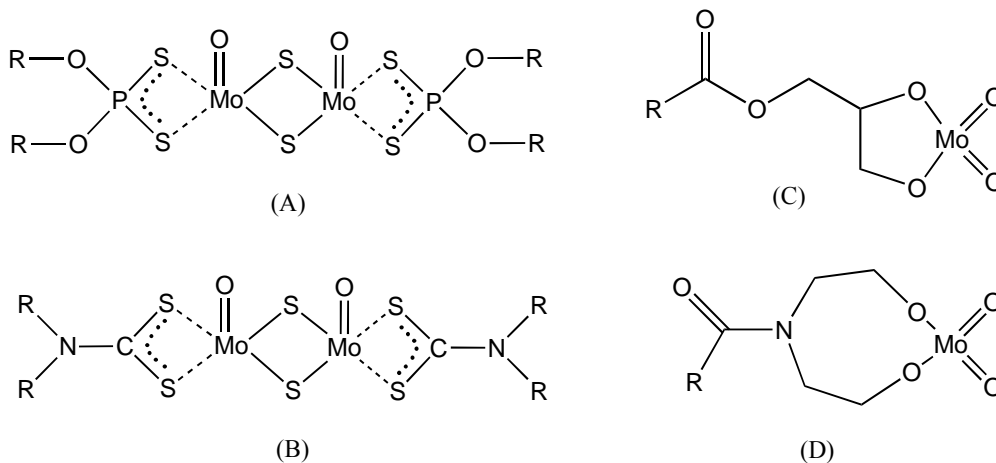


Рисунок 5 – Структуры наиболее популярных органорастворимых соединений молибдена:
 А – MoDDP , В – MoDTC , С – продукт реакции глицеролмоноолеата и оксида молибдена, D – продукт реакции диэтаноламида жирных кислот с оксидом молибдена

Принцип действия органорастворимых соединений молибдена заключается в формировании дисульфида молибдена *in situ* в процессе работы двигателя под действием нагрузок и высоких температур непосредственно в месте контакта трущихся поверхностей [9], таким образом, для формирования MoS₂ необходимо наличие серы либо в самой молибденсодержащей молекуле, либо в других компонентах смазочного материала, например, в других присадках или даже в базовом масле [11].

Еще одной группой соединений, снижающих коэффициент трения, являются функционализированные полимеры, преимущественно на основе полиметакрилатов (рис. 6). Функционализация (около 10 % мольн.) чаще всего достигается за счет введения в состав молекулы аминных (рис. 6, структуры В и С), перфторированных углеводородных (рис. 6, структура D), полиоксиэтилированных (рис. 6, структура E) функциональных групп.

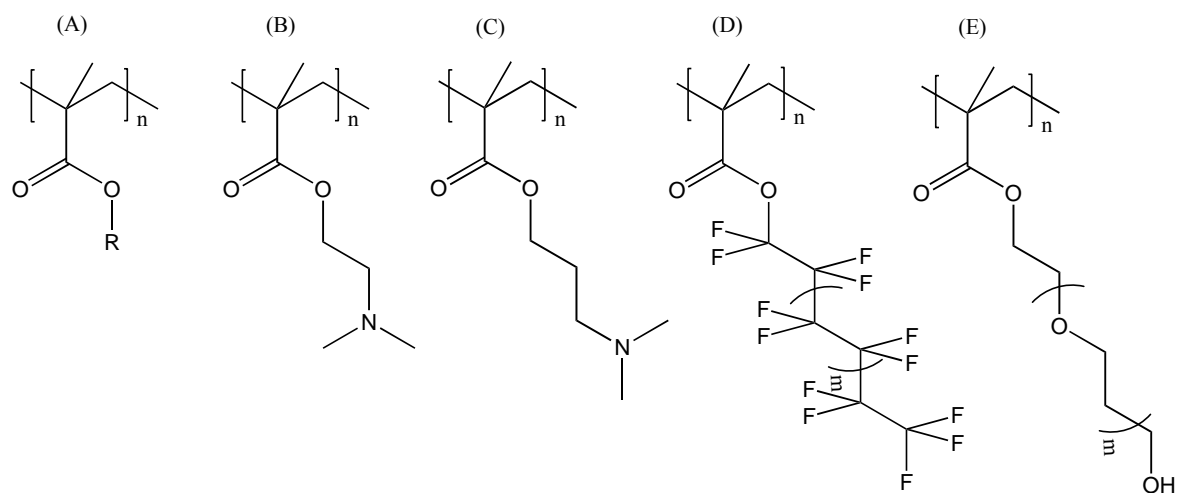


Рисунок 6 – Структуры наиболее популярных полимерных модификаторов трения: А – нефункционализированный полиметакрилат, В – Е – функционализированные полиметакрилаты

Молекулы полимера адсорбируются на двух металлических поверхностях, образуя поверхностные слои, которые имеют более высокую концентрацию полимера, чем основной раствор, и, следовательно, гораздо большую вязкость, таким образом создаются аномальные реологические свойства смазочного материала в приграничных областях контакта с металлом. Функционализированные полиметакрилаты образуют граничные пленки только тогда, когда они имеют структуру блок-сополимера, то есть все функционализированные мономеры связаны вместе в виде блока на одном конце всего полимера, а не распределяются случайным образом по всей полимерной цепи, вероятно, это связано с тем, что несколько функциональных мономеров, сгруппированных вместе в молекуле блок-сополимера, адсорбируются гораздо быстрее, чем когда функциональные группы разбросаны по всей полимерной цепи в статистических сополимерах.

Применение полимерных модификаторов трения пока не получило широкого распространения из-за очень ограниченного диапазона нагрузок, при которых они еще сохраняют эффективность, связанного с относительно невысокой плотностью упаковки полимера на металлической поверхности; кроме того, их эффективность снижается еще больше в присутствии дисперсантов на основе полиалкиленполиаминов – неотъемлемых компонентов любого пакета присадок для моторных масел, вероятнее всего из-за схожего механизма адсорбции и, как следствие, конкуренции поверхностно-активных свойств [12-15].

В рамках настоящей работы исследования антифрикционной активности смазочных материалов с применением модификаторов трения различной природы проводились с использованием стандартизированной машины трения – 2070 СМТ-1 (рис. 7), парой трения выступали чугунные (СЧХН) диск и колодка.

Объектами исследований выступали смеси моторного масла 10w-40, приготовленного

с использованием базовых масел II и III групп, загустителя на основе этиленпропиленового сополимера (ОСП) и пакета присадок уровня свойств CI-4 с различными антифрикционными присадками. В данной работе испытывались органические модификаторы трения и соединения на основе органорастворимого молибдена, два других класса антифрикционных присадок – дисперсные наночастицы и функционализированные полимеры в рамках данного исследования были пропущены в силу указанных выше недостатков при формуляции готовых моторных масел с их вовлечением.

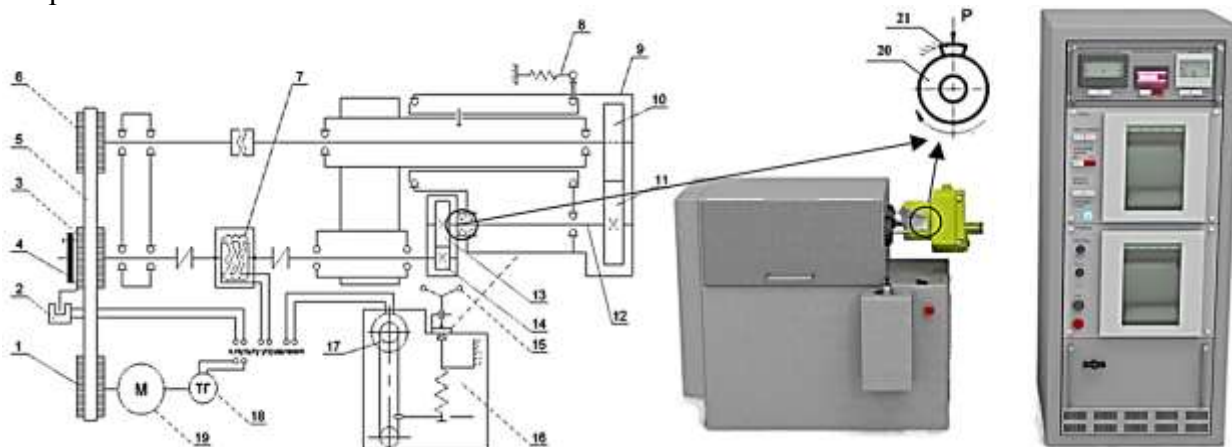


Рисунок 7 – Внешний вид и принципиальная схема 2070 CMT-1:

1 – шкив, 2 – датчик для изменения числа оборотов, 3 – шкив, 4 – сменный предохранительный штифт, 5 – плоскозубчатая ременная передача, 6 – шкив, 7 – упругий торсион датчика момента трения, 8 – пружинный механизм уравнивания, 9 – каретка, 10 и 11 – шестерни, 12 – вал, 13 – образец, 14 – шкив, 15 – рукоятка для регулировки силы, 16 – пружинный механизм нагружения образца, 17 – резистор, 18 – тахогенератор, 19 – вал двигателя, 20 – диск (ролик), 21 – колодка

Подготавливают пару трения и ванночку для образца в соответствии с методикой [16]. Испытуемый образец масла без антифрикционной присадки помещают в специализированную ванну, включают термостатирование и ожидают достижения 90 °С. Включают машину трения и дают ей поработать без нагрузки в течение 5 минут с частотой вращения вала ролика 300 мин⁻¹, затем устанавливают нагрузку $P = 1600$ Н, соответствующую контактному давлению 800 н/см² в течение 40-60 секунд и отслеживают показатель момента трения в течение 2 часов. По истечении указанного времени, не останавливая машину трения, вносят антифрикционную присадку, предварительно нагретую до температуры испытуемого масла, и проводят испытание полученной смеси еще в течение 2 часов. На протяжении всего испытания регистрируются момент трения и температура поверхности колодки. После окончания испытания машину трения отключают, также выключение производят в случае резкого увеличения момента трения, характеризующего начало процесса задира трущихся поверхностей. Сливают масло и, после охлаждения, разбирают узел трения.

Результаты

Анализ результатов испытаний антифрикционной активности указанных выше присадок (рис. 8 и 9) говорит о значительно большей эффективности молибденсодержащих соединений по сравнению с безольными органическими модификаторами трения, а также значительно более позднем выходе на «плато» при увеличении массовой доли присадки. Также можно сделать вывод о том, что эффективность молибденсодержащих добавок значительно выше в том случае, когда атомы серы находятся в составе той же молекулы, а не берутся извне, в данном случае из других присадок, содержащихся в масле, вероятнее всего – диалкилдитиофосфатов цинка.

Обсуждение

Также было замечено, что безольные органические модификаторы трения начинали снижать момент трения почти сразу после ввода в испытуемое масло, в то время как молибденовым присадкам требовалось значительно больше времени. Видимо, данный индукцион-

ный период обусловлен временем формирования дисульфида молибдена в зонах контакта поверхностей трения, причем для молибденовых присадок, не содержащих серу, этот индукционный период был еще выше.

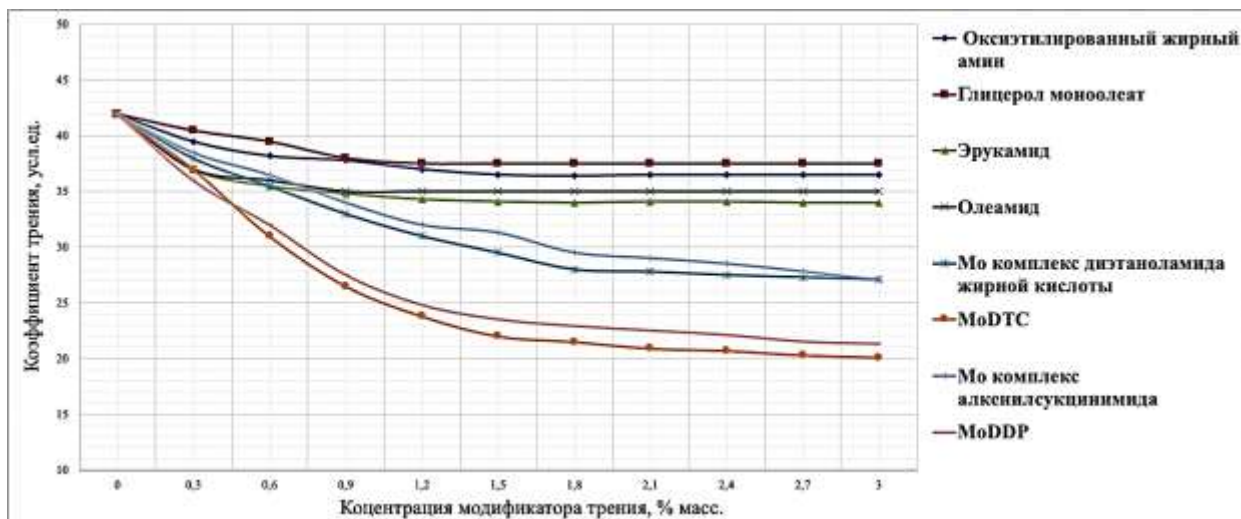


Рисунок 8 – Момент (коэффициент) трения масла 10w-40 в зависимости от массовой концентрации модификаторов трения различной природы

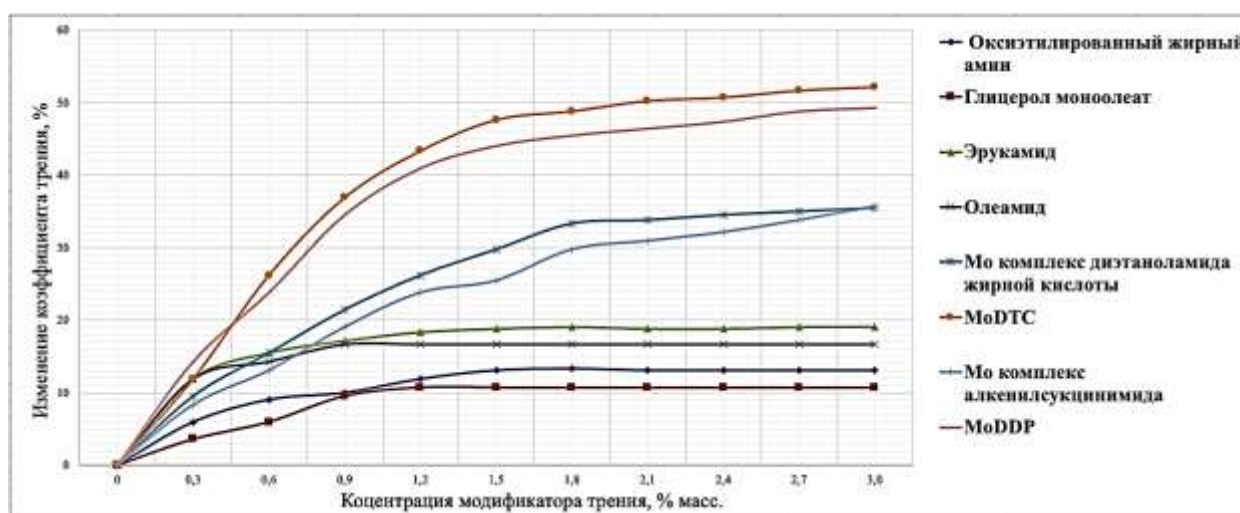


Рисунок 9 – Процентное изменение момента (коэффициента) трения в зависимости от массовой концентрации модификаторов трения различной природы относительно масла 10w-40 API CI-4, не содержащего антифрикционных добавок

Выводы

В результате проведенных испытаний на примере моторного масла 10w-40 API CI-4 было установлено, что наиболее эффективными антифрикционными добавками являются органорастворимые сернистые соединения молибдена – дитиофосфат (MoDDP) и дитиокарбамат (MoDTC). Введение данных добавок в количестве 3 % масс. позволило снизить коэффициент трения вдвое, однако оптимальная концентрация ввода определяется не только коэффициентом трения, а совокупностью факторов, таких как требование конкретной спецификации моторного масла по содержанию сульфатной золы и серы, внешний вид масла (молибденовые присадки очень темные), коррозионная активность по отношению к металлам различной природы, т.е. в большинстве случаев ввод не будет превышать 0,8-1,0 % масс.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wilk M.A., Abraham W.D., Dohner B.R.. An investigation into the effect of zinc dithiophosphate on ASTM sequence VIA fuel economy. SAE Paper 961, 914, 1996.

2. Houben M. Friction analysis of modern gasoline engines and new test methods to determine lubricant effects, 10th International Colloquium, Esslingen, 1996.
3. Langmuir I. The mechanism of the surface phenomena of flotation. Trans. Farad. Soc. 1. P. 62-74.
4. Hardy H.B., Doubleday I. Boundary lubrication, - the paraffin series. Proc. Roy. Soc. Lond. A100. P. 550-557.
5. Гужвенко И.Н., Чанчиков В.А., Перекрестов А.П., Свекольников С.А., Бурмистрова О.В. Исследование влияния дисперсности слоистых модификаторов трения на противоизносные свойства смазочных материалов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 18. №1-2. 2016. С. 187-192.
6. Zhou J., Wu Z., Zhang Z., Liu W., Xue Q. Tribological behaviour and lubricating mechanism of Cu nanoparticles in oil. Trib. Lett. 8. P. 213-218.
7. Qiu S., Zhou Z., Dong J. Chen G. Preparation of Ni nanoparticles and evaluation of their tribological performance as potential antiwear additives in oils. Trans ASME J. of Trib. 123. P. 441-443.
8. Battez A. Hernández R., González J.L., Viesca J.L., Fernández J.E., Díaz Fernández J.M., Machado A., Chou R., Riba J. CuO, ZrO₂ and ZnO nanoparticles as antiwear additive in oil lubricants. Wear 265. P. 422-428.
9. Feng I.M., Perilstein W.L., Adams M.R. Solid film deposition and non-sacrificial boundary lubrication. ASLE Trans. 6. P. 60-66.
10. Mitchell P.C. Oil-soluble Mo-S compounds as lubricant additives. Wear 100. P. 281-300.
11. Gondo S., Konishi M. Organoamine and organophosphate molybdenum complexes as lubricant additives. Wear 12. P. 51-60.
12. Падгурскас Ю., Яскаускас Е., Рукуйжа Р. [и др.] Эффективность применения модификатора трения в двигателях внутреннего сгорания по результатам натурных испытаний // Трение и износ. 2020. Т. 41. №5. С. 641-646. DOI 10.32864/0202-4977-2020-41-5-641-646.
13. Классин Д.Е. Назначение присадок в моторном масле // Молодежь и наука. 2019. №10-11. С. 22.
14. Карасева Т.Н., Карасев Ю.А. Присадки для улучшения эксплуатационных характеристик моторных масел // Технологии и инновации: сборник научных статей научно-педагогических работников, аспирантов и обучающихся. Великие Луки: Великолукская государственная сельскохозяйственная академия. 2022. С. 182-184.
15. Вахрушев С.И., Цыпленков Р.Г., Дмитриев С.Э. Исследование влияния смазочных материалов на износ узлов трения подшипников качения // Наука и военная безопасность. 2017. №1(8). С. 78-81.
16. Метод квалификационной оценки антифрикционных свойств моторных масел и присадок на машине трения типа СМТ-1, Решение Госстандарта №540/1-175 от 17.10.90.

Зернов Александр Анатольевич

Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина

Адрес: 410054, Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

Аспирант

E-mail: inform2@rusptk.com

Блинов Дмитрий Геннадьевич

Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина

Адрес: 410054, Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

Аспирант

E-mail: bdg@rusptk.com

Гусев Сергей Александрович

Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина

Адрес: 410054, Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

Д.э.н., зав. кафедрой организации перевозок, безопасности движения и сервиса автомобилей

E-mail: o051nm@yandex.ru

A.A. ZERNOV, D.G. BLINOV, S.A. GUSEV

FRICION MODIFIERS IN LUBRICANTS - AN EFFECTIVE TOOL FOR IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Abstract. *In today's world, energy efficiency is one of the key factors in the development of technologies. Particular attention is paid to internal combustion engines (ICE), which are actively used in various industries and transport. Since overcoming friction consumes up to a quarter of the energy resources consumed, one of the promising tools for improving the energy efficiency of these engines is the use of friction modifiers in lubricants.*

The article considers the main types of antifriction additives with a brief description of the mechanisms of their action, the main advantages and disadvantages, tested the most common fric-

tion modifiers of different nature in the composition of 10w-40 API CI-4 oil on the friction machine 2070 SMT-1 and quantitatively shows the difference in the effectiveness of the selected additives, made conclusions about the most effective additives and dosages of input, as well as the factors limiting the introduction of lyophilic molybdenum modifiers.

Keywords: organic friction modifiers, molybdenum additives, molybdenum disulfide, internal combustion engine energy efficiency, energy efficient engine oils

BIBLIOGRAPHY

1. Wilk M.A., Abraham W.D., Dohner B.R.. An investigation into the effect of zinc dithiophosphate on ASTM sequence VIA fuel economy. SAE Paper 961, 914, 1996.
2. Houben M. Friction analysis of modern gasoline engines and new test methods to determine lubricant effects, 10th International Colloquium, Esslingen, 1996.
3. Langmuir I. The mechanism of the surface phenomena of flotation. Trans. Farad. Soc. 1. R. 62-74.
4. Hardy H.B., Doubleday I. Boundary lubrication, - the paraffin series. Proc. Roy. Soc. Lond. A100. R. 550-557.
5. Guzhvenko I.N., Chanchikov V.A., Perekrestov A.P., Svekol'nikov S.A., Burmistrova O.V. Issledovanie vliyaniya dispersnosti sloistyykh modifikatorov treniya na protivoznosnye svoystva smazochnykh materialov // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. T. 18. №1-2. 2016. S. 187-192.
6. Zhou J., Wu Z., Zhang Z., Liu W., Xue Q. Tribological behaviour and lubricating mechanism of Cu nanoparticles in oil. Trib. Lett. 8. R. 213-218.
7. Qiu S., Zhou Z., Dong J. Chen G. Preparation of Ni nanoparticles and evaluation of their tribological performance as potential antiwear additives in oils. Trans ASME J. of Trib. 123. R. 441-443.
8. Battez A. Hern?ndez R., Gonz?lez J.L., Viesca J.L., Fern?ndez J.E., D?az Fern?ndez J.M., Machado A., Chou R., Riba J. CuO, ZrO₂ and ZnO nanoparticles as antiwear additive in oil lubricants. Wear 265. R. 422-428.
9. Feng I.M., Perilstein W.L., Adams M.R. Solid film deposition and non-sacrificial boundary lubrication. ASLE Trans. 6. R. 60-66.
10. Mitchell P.C. Oil-soluble Mo-S compounds as lubricant additives. Wear 100. R. 281-300.
11. Gondo S., Konishi M. Organoamine and organophosphate molybdenum complexes as lubricant additives. Wear 12. R. 51-60.
12. Padgurskas YU., YAskas E., Rukuyzha R. [i dr.] Effektivnost' primeneniya modifikatora treniya v dvigatelyakh vnutrennego sgoraniya po rezul'tatam naturnykh ispytaniy // Trenie i iznos. 2020. T. 41. №5. S. 641-646. DOI 10.32864/0202-4977-2020-41-5-641-646.
13. Klassin D.E. Naznachenie prisadok v motornom masle // Molodezh' i nauka. 2019. №10-11. S. 22.
14. Karaseva T.N., Karasev YU.A. Prisadki dlya uluchsheniya ekspluatatsionnykh kharakteristik motornykh masel // Tekhnologii i innovatsii: sbornik nauchnykh statey nauchno-pedagogicheskikh rabotnikov, aspirantov i obuchayushchikhsya. Velikie Luki: Velikolukskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya. 2022. S. 182-184.
15. Vakhrushev S.I., Tsiplenkov R.G., Dmitriev S.E. Issledovanie vliyaniya smazochnykh materialov na iznos uzlov treniya podshipnikov kacheniya // Nauka i voennaya bezopasnost'. 2017. №1(8). S. 78-81.
16. Metod kvalifikatsionnoy otsenki antifriktsionnykh svoystv motornykh masel i prisadok na mashine treniya tipa SMT-1, Reshenie Gosstandarta №540/1-175 ot 17.10.90.

Zernov Alexander Anatolievich

Saratov State Technical University
Address: 410054, Russia, Saratov, Polytechnic str., 77
Graduate student
E-mail: inform2@rusptk.com

Blinov Dmitry Gennadievich

Saratov State Technical University
Address: 410054, Russia, Saratov, Polytechnic str., 77
Graduate student
E-mail: bdg@rusptk.com

Gusev Sergey Alexandrovich

Saratov State Technical University
Address: 410054, Russia, Saratov, Polytechnic str., 77
Doctor of Economics Sciences
Email: o051nm@yandex.ru

Научная статья

УДК: 622.684+656.07+658.286

doi:10.33979/2073-7432-2024-3-1(86)-67-74

А.С. СЕМЫКИНА, Н.А. ЗАГОРОДНИЙ, Д.Ф. КОВЕРЖЕНКО

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ПЕРИОДА ЭКСПЛУАТАЦИИ КАРЬЕРНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Аннотация. В работе определяется рациональный период эксплуатации карьерного автомобильного транспорта. Установлено: использование полученных результатов расчета рационального периода эксплуатации позволяет достичь максимальной эффективности технической эксплуатации карьерной техники, при этом минимизирует финансовые расходы на содержание и замещение транспорта.

Ключевые слова: карьерный автомобильный транспорт, рациональный период эксплуатации, планово-предупредительная система, эксплуатация карьерных автомобилей, срок службы карьерных автомобилей

Введение

Технологии добычи полезных ископаемых в карьерах тесно связаны с их транспортировкой при помощи автомобильного транспорта. При этом требуется постоянное замещение устаревших моделей более усовершенствованными транспортными средствами, что позволяет увеличивать объемы перевозок, при этом сокращая время на их выполнение, а также снижать затраты на горюче-смазочные материалы [1].

Карьерные транспортные средства не имеют альтернатив при транспортировании грузов в карьерах, они способны преодолевать значительные уклоны, обладая при этом ограниченным сроком службы. Затраты на транспортировку составляют львиную долю итоговой стоимости перевозимых грузов, следовательно, снижение себестоимости грузоперевозок является приоритетной задачей. Эксплуатация карьерного транспорта заключается в определении необходимого количества единиц техники для осуществления транспортирования необходимого объема груза, при этом необходимо разработать план работы, учитывающий места погрузки разгрузки, времени простоя и отдыха, обеспечивая равномерный своевременный подъезд транспорта избегая образования очереди. Важно учесть, необходимость выделения время на техническое обслуживание техники, вести учет наработки по мото-ч., выполнять обслуживание качественно и своевременно следуя интервалам рекомендуемым заводом изготовителем [2].

Развитие и усовершенствование карьерного автомобильного транспорта заключается в создании обширного ряда моделей под разную грузоподъемность и габариты, внедрение систем позволяющий обеспечить безопасность снизить временные затраты на производство типовых задач, повышение ресурса базовых узлов и агрегатов, внедрение систем, позволяющих облегчить управление для водителя.

Поскольку доля выбросов вредных веществ в атмосферу у карьерного транспорта значительная в конструкцию внедряют системы уменьшающие выбросы вредных веществ и снижающие расход топлива [3].

Процесс транспортирования состоит из следующих основных этапов: прибытие самосвала к месту добычи, передачи информации в диспетчерский пункт, загрузки самосвала, транспортировки в пункт хранения, разгрузки самосвала и т.д. Последствиями нарушений при выполнении процессов транспортирования являются увеличенное время погрузки-разгрузки транспорта, увеличенное время подачи самосвала к экскаватору, нарушение очередности подачи транспорта, неравномерная загруженность техники и т.д.

Материал и методы

Автомобильный транспорт занимает лидирующие позиции по применению в карьерах из-за огромного количества преимуществ, например, отсутствие необходимости в стационарных источниках питания, высокая манёвренность и вариативность использования и т.д. но при этом существуют определенные ограничения в виде целесообразности их применения свыше определенной глубины карьера [4]. В теории для глубоких карьеров необходимо использование комбинированных видов транспорта, наиболее эффективная комбинация применение последовательной конвейерной транспортировки с последующей транспортировкой карьерным автомобильным транспортом. К сожалению из-за значительных финансовых вложений на переоборудование, срок окупаемости которого может достигать периода выработки карьера, использовать комбинированный вид транспорта экономически нецелесообразно. Чаще всего автомобильный транспорт используют на предельных глубинах и расстояниях ввиду экономических ограничений поэтому необходимо повышать эффективность использования автомобильного карьерного транспорта [5].

Эффективность использования автотранспорта состоит из следующих этапов:

- 1) скорость движения транспорта;
- 2) расход топлива транспортом;
- 3) расстояние от места добычи до предприятия;
- 4) время транспортирования;
- 5) пробег транспорта [6].

Главной задачей обеспечения эффективности использования карьерного транспорта является минимизация простоев, порожних пробегов, задержек.

Время, затраченное на транспортирование, состоит из следующих составных частей:

- 1) время погрузочно-разгрузочных работ;
- 2) время оформления документов;
- 3) время движения транспорта;
- 4) время простоя транспорта [7].

Под рациональным периодом эксплуатации транспортных средств принято считать отрезок времени, при котором транспортное средство сохраняет свою производительность и эффективность на оптимальном уровне при минимальных финансовых и временных затратах на обслуживание и ремонт [8].

Для обеспечения безотказной работы карьерных транспортных средств используют планово-предупредительную систему обслуживания, которая представлена в виде комплекса обязательных регламентированных запланированных мероприятий (табл. 1).

Таблица 1 – Регламент технического обслуживания карьерных самосвалов

Вид обслуживания	Периодичность, мото-ч	Простои, ч
Ежесменное техническое обслуживание (ЕС)	Ежесменно	0,8
Первое техническое обслуживание (ТО-1)	250	7
Второе техническое обслуживание (ТО-2)	500	20
Третье техническое обслуживание (ТО-3)	1000	28
Сезонное техническое обслуживание (СО)	Два раза в год	Не регламентировано

Поскольку условия эксплуатации транспорта в карьерах имеют переменный характер, в свою очередь значительно влияющий на интервалы проведения технического обслуживания на предприятиях используют корректирующие коэффициенты, которые позволяют экономически обосновано изменять, как правило в меньшую сторону рекомендации завода изготовителя. Применения этой методики позволяет значительно снизить возникновения случайных отказов во время работы карьерного транспорта [9].

Совместно с техническим обслуживанием производят ремонтные работы, которые разделены на категории:

- 1) предупредительный ремонт (ПР) – вид ремонтных работ, направленный на предотвращение отказов;

2) текущий ремонт (ТР) – вид ремонтных работ, направленных на восстановление работоспособности транспортных средств в интервалах между плановым техническим обслуживанием, производится при необходимости;

3) капитальный ремонт (КР) – вид ремонтных работ, направленных на восстановление ресурса транспортного средства близкого к номинальному значению, производится в случае значительных трудоемких поломок, которые невозможно устранить в рамках текущего ремонта, является самым затратным по отношению к финансам и времени [10].

4) диагностирование (Д) – ряд мероприятий, направленных на точное определение состояния узлов и агрегатов транспортного средства, применяется для определения неисправности при этом минимизируя разборку узлов и агрегатов при идеальных условиях вовсе исключая её [11].

Самым распространённым методом ремонта является замена изношенных деталей новыми, преимуществом которого является прогнозируемость итогового результата. Восстановление изношенных деталей также распространено, но ввиду мировых тенденций, имеет второстепенное значение так как заводы изготовители все чаще производят свою технику не учитывая возможность производства восстановительных мероприятий [12]. Агрегатный метод ремонта имеет неоспоримое преимущество по временным затратам на производство ремонта так как происходит замена изношенного узла новым либо исправным, наиболее эффективен в случае наличия групп однотипных транспортных средств. Очень эффективным ремонтом является применение дополнительной ремонтной детали основным преимуществом является возможность дальнейшего использования изношенных деталей, но в tandem с изготовленной ремонтной деталью, основным недостатком является необходимость дорогостоящего оборудования и высококвалифицированных работников [13].

Теория / Расчет

Для расчета рационального периода эксплуатации карьерного транспорта учитываются факторы, которые имеют непосредственное влияние на техническое состояние агрегатов и узлов автомобилей:

1) межсервисный интервал проведения обслуживания автомобиля. Чем автомобиль чаще требует технического обслуживания, тем он менее эффективен, так как время, затраченное на его проведение, является простым. Также немаловажным аспектом является стоимость расходных материалов [14];

2) гарантийный срок автомобиля. Продолжительность гарантийного срока является весомым параметром, так как многие дорогостоящие дефекты, которые возникают во время эксплуатации могут быть устранены по гарантии;

3) установленный на основе опыта и рекомендаций срок эксплуатации транспорта самим владельцем. При определении срока эксплуатации необходимо рассчитать все так, чтобы автомобиль успел амортизировать затраты на его покупку и обслуживание, при этом принести прибыль [15];

4) эксплуатационные затраты. При определении рационального периода эксплуатации автомобиля учитываются все расходы, которые необходимы для поддержания функционирования транспортных средств [16];

5) техническое состояние автомобиля. При эксплуатации транспорт изнашивается из-за чего возникают усталостные деформации, происходит изменение геометрических размеров сопрягаемых деталей, что приводит к снижению надежности, при этом все чаще требуется проводить ремонтные работы с целью поддержания работоспособного состояния автомобилей [17];

6) возраст автомобиля. Чем старше парк транспортных средств, тем вероятнее возникновение отказов;

7) потеря товарной стоимости. После списания транспортные средства выставляют на торги, чем выше их остаточная стоимость, тем лучше так как появляется возможность вернуть часть финансов, затраченных на приобретение [18];

8) личные потребности и предпочтения владельца;

9) стоимость одного мото-ч наработки. Чем финансовые затраты одного мото-ч наработки выше, тем срок окупаемости техники больше. Исключением является техника, которая при большой стоимости мото-ч способна перевезти большое количество груза [18];

10) учет запасных частей, расходных материалов, технических жидкостей. Карьерная техника является специализированной, как следствие расходные материалы и технические жидкости могут в значительном диапазоне варьироваться по стоимости и по их наличию;

11) затраты на простои. Исключить простой техники невозможно, однако необходимо стремиться к минимально возможному значению данного параметра, так как простой техники является убытком прибыли.

Расчет рационального периода эксплуатации карьерного транспорта позволяет оценить функционирование реальной системы перевозки сырья, произвести учет режимов работы, сократить затраты на эксплуатацию, разработать рекомендации по проведению технического обслуживания с учетом корректирующих коэффициентов условий эксплуатации, производить учет статистических данных по выполнению операций по перевозке сырья [18].

Факторы, которые по техническим причинам невозможно учитывать в расчете, но при этом они имеют значительное влияние на фактический период эксплуатации карьерного транспорта:

1) время простоев по организационным причинам. Данный фактор имеет обширное значение начиная с человеческого фактора и заканчивая непредвиденными обстоятельствами, либо техническими неисправностями;

2) время простоев по погодным условиям.

Для обеспечения максимальной точности в расчет включают статистическую информацию на основе предыдущих кварталов [19].

Результаты

Основные методы эффективного использования карьерного транспорта следующие:

1) налаженная взаимосвязь между объектами транспорта, что позволяет сократить объем работ;

2) наблюдение за процессом перевозки сырья на каждом участке. Это приводит к сокращению потерь при эксплуатации транспорта;

3) использование GPS-устройств для отслеживания движения транспорта, что сокращает материальные затраты;

4) контроль состоянием транспорта и водителя. Это приводит к сокращению затрачиваемого времени на перевозки и ремонт;

Корректирование графика и маршрута движения транспорта, что минимизирует пробоги транспорта и обеспечивает бесперебойную работу.

Значимость эксплуатационного срока автомобиля заключается в следующем:

1) экономическая эффективность заключается в том, что расходы на содержание карьерного транспорта со временем увеличиваются, при этом остаточная стоимость, уменьшается;

2) определение целесообразного периода эксплуатации автомобиля заключается в своевременном замещении изношенного транспорта на новый;

3) надежность и безопасность. Неизбежно в процессе эксплуатации транспортного средства параметры деталей изменяются от номинальных до предельно изношенных, в результате узлы и агрегаты транспортного средства все чаще отказывают;

4) финансовая эффективность заключается в стоимости перевозок, приобретения, обслуживания и ремонта;

5) экологическая эффективность. Старые модели карьерных транспортных средств, как правило, не соответствуют современным нормам токсичности, вследствие чего производят много вредных выбросов, таких как оксид углерода, сера, сажа, бензпирен и т.д.

Схематично эксплуатационный срок автомобиля до списания представлена на рисунке 1.

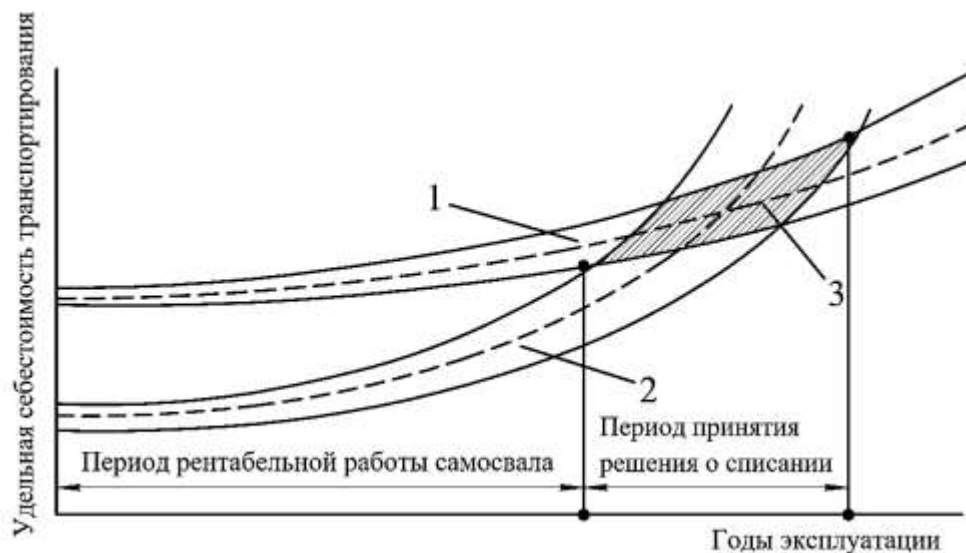


Рисунок 1 – Схема определения срока списания карьерного транспорта:

- 1 – зона изменения максимально допустимой итоговой себестоимости транспортирования горной массы;
 2 – зона изменения фактической себестоимости транспортирования в разные годы эксплуатации;
 3 – область списания карьерного транспорта

Обсуждение

Представленная схема периодичности списания карьерных транспортных средств позволяет эффективно использовать капитал производства. Учитывая все выше перечисленное, при помощи произведения расчета рационального периода эксплуатации возможно оценить необходимость продолжения эксплуатации, либо же списания карьерного транспорта.

Возможные сценарии дальнейшего использования транспорта следующие:

1) в случае если фактическая, либо расчетная себестоимость не достигает области списания, то самосвал при условии удовлетворительного технического состояния продолжает работу на линии;

2) в случае если расчетные либо фактические расходы превышают прибыль, но при этом техника находится в исправном состоянии, то возможно перенаправление техники на более щадящий режим работы, либо сдан в аренду или вовсе продан;

3) в случае если расчетные, либо фактические расходы превышают прибыль, при этом техника находится в неудовлетворительном техническом состоянии, наиболее правильным эффективным решением будет списание, даже при условии несоответствия срока списания, рекомендуемого производителем;

4) условие, при котором транспорт выработал ресурс, регламентированный эксплуатационной документацией, предоставляемой производителем, но при диагностировании было определено, что возможна дальнейшая безопасная эксплуатация, расчётные, либо фактические расходы не превышают доходы, то рационально принять решение о продолжении эксплуатации на прежних условиях;

5) условие, при котором транспорт выработал ресурс, регламентированный эксплуатационной документацией, предоставляемой производителем, и при диагностировании было определено, что дальнейшая безопасная эксплуатация невозможна, то расчетные, либо фактические расходы превышают доходы, следовательно, транспорт необходимо списать;

6) условие, при котором транспорт выработал ресурс, регламентированный эксплуатационной документацией, предоставляемой производителем, при диагностировании было определено, что дальнейшая безопасная эксплуатация невозможна без применения комплекса ремонтных мероприятий по восстановлению технического состояния, то затраты на ремонт суммируют с расходами и после чего сравнивают с доходами, далее по результатам принимается решение о продолжении эксплуатации, либо списывании транспорта.

Выводы

Рассмотренные методы, перечисленные выше, позволяют контролировать расходы, планировать бюджеты, время окупаемости карьерных транспортных средств, а также учитывать категорию эксплуатации.

При этом все приведенные методы обладают универсальностью, то есть не привязаны к конкретной марке и модели транспортных средств, такие методики уступают узконаправленным специализированным в точности, но преобладает в реальных условиях, где транспортный парк состоит из нескольких групп.

В ходе исследований, приведенных в статье, определено, что расчет рационального периода эксплуатации карьерного транспорта приводит к повышению эффективности работы карьерного автомобильного транспорта. Необоснованное чрезмерное использование устаревшей техники приводит к издержкам на производстве и напротив смена карьерного транспорта чрезмерно часто приводит к необоснованным затратам и потере эффективности эксплуатации транспортных средств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семькина А.С., Загородний Н.А., Конев А.А. Повышение эффективности технической эксплуатации карьерного автомобильного транспорта // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №3-5(82). С. 26-33.
2. Борисов В.В., Луферов В.С. Метод многомерного анализа и прогнозирования состояния сложных систем и процессов на основе нечетких когнитивных темпоральных моделей // Системы управления, связи и безопасности. 2020. № 2. С. 1-23. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10201.
3. Семькина А.С., Загородний Н.А., Андреева С. Организация технологических процессов технического обслуживания и диагностирования автомобилей // Научные технологии и инновации (XXV научные чтения): Сборник докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. С. 1070-1075.
4. Жердицкий Н.Р., Русаков В.З., Голованов А.А. Автосервис и фирменное обслуживание автомобилей: учебное пособие. Новочеркасск: ЮРГТУ, 2020. 123 с.
5. Рыжая А.А., Белякова Е.В., Добрачев С.С. Состояние рынка технического обслуживания и ремонта автомобильного транспорта в России // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (с международным участием). Красноярск. 2022. С. 1095-1097.
6. Коняхина Т.Б., Панасенко И.В., Недзельская О.Н., Анохина Ю.С. Исследование рынка обслуживания автотранспортных средств в России // Молодой ученый. 2021. №18(204). С. 336-338.
7. Семькина А.С., Загородний Н.А., Новиков А.Н. Замена изношенных элементов восстановленными на карьерных АТС // Автомобильная промышленность. 2022. №2. С. 31-34.
8. Новиков А.Н., Новиков И.А., Загородний Н.А., Семькина А.С. Разработка научно-методических подходов для повышения эффективности карьерного транспорта // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2020. Т. 17. №6(76). С. 690-703.
9. Григорьев М.В., Демидов В.В. Применение эффективной стратегии технического обслуживания и ремонта автомобилей как способ повышения их эксплуатационной надежности // Инженерные решения. 2020. №6(16). С. 9-14.
10. Репин С.В., Шиманова А.А., Лутов Д.А. Методика повышения эксплуатационной надежности сложного технического объекта посредством анализа его структурной надежности // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2021. №1(64). С. 23-30.
11. Матвиенко И.В. Формирование комплекса мероприятий, направленных на обеспечение эксплуатационной надежности транспортных средств // Новости науки и технологий. 2022. №2(61). С. 11-18.
12. Тарасов П.И. Горные работы и карьерный транспорт – основа строительства транспортных коридоров.
13. Васильева А.В., Старостин Е.С. Перспективы использования карьерного транспорта в горной промышленности / Отв. редакторы: А.О. Глико, А.А. Барях, К.В. Лобанов, И.Н. Болотов // Глобальные проблемы Арктики и Антарктики: Сборник научных материалов Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 90-летию со дня рождения акад. Николая Павловича Лавёрова. 2020. С. 640-644.
14. Пархомчик П.А., Витязь П.А., Егоров А.Н., Шишко С.А., Насковец А.М., Моисеенко В.И. Современные тенденции и решения по обеспечению конкурентоспособности карьерного транспорта производства «БЕЛАЗ» // Механика машин, механизмов и материалов. 2019. №1(46). С. 93-100.
15. Батманов Э.З., Нажмудинова М.Н. Методы повышения эффективности эксплуатации карьерного транспорта // Грузовик. 2022. №6. С. 27-31.

16. Жунибеков П., Тюлюбаева З., Керимжанова М., Сарсембенова О. Карьерный колесный транспорт безаз как типовое звено системы автоматического управления // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. 2022. №3(122). С. 66-75.

17. Черепанов В.А., Журавлев А.Г. Современные технологические и конструктивные решения в карьерном транспорте // Проблемы недропользования. 2022. №4(35). С. 75-93.

18. Золотухин В.Д., Франюк Е.Е. Карьерный транспорт // Уральская горная школа - регионам. материалы научно-практической конференции. Екатеринбург, 2023. С. 746-747.

19. Васильева А.В., Коста А.В. Анализ развития карьерного транспорта // Обмен знаниями как ключевое условие научного прогресса: Сборник научных трудов. Казань, 2021. С. 260-264.

Семыкина Алла Сергеевна

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

К.т.н., старший преподаватель кафедры «Эксплуатация и организация движения автотранспорта»

E-mail: fantarock@mail.ru

Загородний Николай Александрович

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

К.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Эксплуатация и организация движения

автотранспорта»

E-mail: n.zagorodnij@yandex.ru

Коверженко Дмитрий Федорович

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

Студент

E-mail: dimon.cove@gmail.com

A.S. SEMYKINA, N.A. ZAGORODNY, D.F. KOVERZHENKO

DETERMINATION OF THE RATIONAL PERIOD OF OPERATION OF QUARRY VEHICLES AND ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF THEIR USE

Abstract. The paper defines the rational period of operation of quarry motor transport. It is established that the use of the obtained results of calculating the rational period of operation makes it possible to achieve maximum efficiency of technical operation of quarry equipment, while minimizing financial costs for the maintenance and replacement of transport.

Keywords: career automobile transport, rational period of operation, planning and preventive system, operation of career vehicles, service life of career vehicles

BIBLIOGRAPHY

1. Semykina A.S., Zagorodniy N.A., Konev A.A. Povyshenie effektivnosti tekhnicheskoy ekspluatatsii kar'ernogo avtomobil'nogo transporta // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №3-5(82). S. 26-33.
2. Borisov V.V., Luferov V.S. Metod mnogomernogo analiza i prognozirovaniya sostoyaniya slozhnykh sistem i protsessov na osnove nechetkikh kognitivnykh temporal'nykh modeley // Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti. 2020. № 2. S. 1-23. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10201.
3. Semykina A.S., Zagorodniy N.A., Andreeva S. Organizatsiya tekhnologicheskikh protsessov tekhnicheskogo obsluzhivaniya i diagnostirovaniya avtomobiley // Naukoemkie tekhnologii i innovatsii (XXV nauchnye chteniya): Sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 170-letiyu so dnya rozhdeniya V.G. Shukhova. Belgorod: BGTU im. V.G. Shukhova. 2023. S. 1070-1075.
4. ZHeritskiy N.R., Rusakov V.3., Golovanov A.A. Avtoservis i firmennoe obsluzhivanie avtomobiley: uchebnoe posobie. Novocherkassk: YURGTU, 2020. 123 s.
5. Ryzhaya A.A., Belyakova E.V., Dobrachev S.S. Sostoyanie rynka tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta avtomobil'nogo transporta v Rossii // Molodye uchenye v reshenii aktual'nykh problem nauki: Sbornik materialov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh (s Mezhdunarodnym uchastiem). Krasnoyarsk. 2022. S. 1095-1097.

6. Konyakhina T.B., Panasenko I.V., Nedzel'skaya O.N., Anokhina YU.S. Issledovanie rynka obsluzhivaniya avtotransportnykh sredstv v Rossii // Molodoy uchenyy. 2021. №18(204). S. 336-338.
7. Semykina A.S., Zagorodniy N.A., Novikov A.N. Zamena iznoshennykh elementov vosstanovlennymi na kar'ernykh ATS // Avtomobil'naya promyshlennost'. 2022. №2. S. 31-34.
8. Novikov A.N., Novikov I.A., Zagorodniy N.A., Semykina A.S. Razrabotka nauchno-metodicheskikh podkhodov dlya povysheniya effektivnosti kar'ernogo transporta // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta. 2020. T. 17. №6(76). S. 690-703.
9. Grigor'ev M.V., Demidov V.V. Primenenie effektivnoy strategii tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta avtomobiley kak sposob povysheniya ikh ekspluatatsionnoy nadezhnosti // Inzhenernye resheniya. 2020. №6(16). S. 9-14.
10. Repin S.V., Shimanova A.A., Lutov D.A. Metodika povysheniya ekspluatatsionnoy nadezhnosti slozhnogo tekhnicheskogo ob"ekta posredstvom analiza ego strukturnoy nadezhnosti // Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI). 2021. №1(64). S. 23-30.
11. Matvienko I.V. Formirovanie kompleksa meropriyatiy, napravlennykh na obespechenie ekspluatatsionnoy nadezhnosti transportnykh sredstv // Novosti nauki i tekhnologii. 2022. №2(61). S. 11-18.
12. Tarasov P.I. Gornye raboty i kar'ernyy transport - osnova stroitel'stva transportnykh koridorov.
13. Vasil'eva A.V., Starostin E.S. Perspektivy ispol'zovaniya kar'ernogo transporta v gornoy promyshlennosti / Otv. redaktory: A.O. Gliko, A.A. Baryakh, K.V. Lobanov, I.N. Bolotov // Global'nye problemy Arktiki i Antarktiki: Sbornik nauchnykh materialov Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoy 90-letiyu so dnya rozhdeniya akad. Nikolaya Pavlovicha Laviorova.. 2020. S. 640-644.
14. Parkhomchik P.A., Vityaz' P.A., Egorov A.N., Shishko S.A., Naskovets A.M., Moiseenko V.I. Sovremennye tendentsii i resheniya po obespecheniyu konkurentosposobnosti kar'ernogo transporta proizvodstva «BELAZ» // Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov. 2019. №1(46). S. 93-100.
15. Batmanov E.Z., Nazhmudinova M.N. Metody povysheniya effektivnosti ekspluatatsii kar'ernogo transporta // Gruzovik. 2022. №6. S. 27-31.
16. ZHunisbekov P., Tyulyubaeva Z., Kerimzhanova M., Sarsembenova O. Kar'ernyy kolesnyy transport belaz kak tipovoe zveno sistemy avtomaticheskogo upravleniya // Vestnik Kazakhskoy akademii transporta i kommunikatsiy im. M. Tynyshpaeva. 2022. №3(122). S. 66-75.
17. Cherepanov V.A., ZHuravlev A.G. Sovremennye tekhnologicheskie i konstruktivnye resheniya v kar'ernom transporte // Problemy nedropol'zovaniya. 2022. №4(35). S. 75-93.
18. Zolotukhin V.D., Franyuk E.E. Kar'ernyy transport // Ural'skaya gornaya shkola - regionam. materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Ekaterinburg, 2023. S. 746-747.
19. Vasil'eva A.V., Kosta A.V. Analiz razvitiya kar'ernogo transporta // Obmen znaniyami kak klyuchevoye usloviye nauchnogo progressa: Sbornik nauchnykh trudov. Kazan', 2021. S. 260-264.

Semykina Alla Sergeevna

Belgorod State Technological University
Address: Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46
Candidate of technical science
E-mail: fantarock@mail.ru

Zagorodny Nikolay Alexandrovich

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

Kocherzhenko Dmitry Fedorovich

Belgorod State Technological University
Address: Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46
Student
E-mail: dimon.cove@gamil.com

Начная статья

УДК 656.015

doi:10.33979/2073-7432-2024-3-1(86)-75-82

Л.Е. КУЩЕНКО, А.С. КАМБУР, С.В. КУЩЕНКО

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА НЕРЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕШЕХОДНЫХ ПЕРЕХОДАХ

Аннотация. Подробно рассмотрена нормативно-правовая база Российской Федерации в области безопасности дорожного движения. Изучены показатели смертности и аварийности в результате ДТП в зависимости от типа пользователей дорог, в разбивке по регионам на основании Доклада Всемирной Организации Здравоохранения за прошлое десятилетие. Выявлены аналогичные показатели на территории Белгородской области. Разработана система управления движением на нерегулируемых пешеходных переходах для снижения показателей смертности и аварийности. Перечислены ее преимущества, принцип работы, а также элементы системы.

Ключевые слова: система управления, нерегулируемый пешеходный переход, дорожное движение, смертность, аварийность, стратегия

Введение

Сформированные и эффективно реализованные стратегии, разработанные государственными программами Российской Федерации в сфере безопасности дорожного движения (БДД), а также документы стратегического планирования, в которых содержится комплекс планируемых мероприятий, объединенных своими задачами, сроками осуществления, исполнителями и ресурсами; и иные нормативно-правовые документы, существенно позволяющие снизить показатели аварийности, смертности и дорожно-транспортного травматизма участников дорожного движения, в частности пешеходов и детей-пешеходов на дорогах Российской Федерации.

Стратегия безопасности дорожного движения на 2018-2024 годы и Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года обеспечивают целостный (системный) подход к решению проблемы дорожно-транспортного травматизма.

Вышеперечисленные стратегии направлены на реализацию интенсивного, инновационного социально-ориентированного пути развития страны, обеспечивающего повышение конкурентоспособности национальной экономики и качества жизни населения. Стратегии разработаны в соответствии с «Концепцией долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации», «Основными параметрами прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020-2030 годов», а также «Демографической политикой Российской Федерации на период до 2025 года».

Материал и методы

Согласно последнему Докладу Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) о состоянии БДД в мире за 2023 г., за период прошлого десятилетия с 2010 г. по 2021 г. количество смертей в результате ДТП снизилось на 5 % до уровня 1,19 млн. случаев смерти в год. А при более 40 – 50 млн. случаев возникновения дорожного происшествия люди становятся инвалидами, что также негативно отражается на работоспособности и экономике страны в целом.

Дорожно-транспортный травматизм является основной причиной смертности детей и молодых людей в возрасте от 5 до 29 лет; 2/3 случаев смерти в результате ДТП приходится на людей трудоспособного возраста (18–59 лет).

Аварийность на дорогах представляет собой постоянный глобальный кризис в области здравоохранения, а вероятность гибели пешеходов, велосипедистов и других уязвимых участников дорожного движения остается высокой и постоянно возрастает.

Теория

Ежегодно в результате дорожно-транспортных происшествий погибает более 1,35 миллиона человек, причем более 90 % этих смертей происходит в странах с низким и средним уровнем дохода [1].

Тем не менее, несмотря на глобальные усилия по приоритизации БДД в течение последнего десятилетия и растущее количество фактических данных в поддержку проведенных мер, многие национальные правительства не сделали безопасность дорожного движения приоритетом, а финансирование для реализации в странах с низким и средним уровнем доходов не было получено, в результате чего количество летальных исходов высоко [2-4].

На рисунке 1 представлены показатели смертности в результате наступления ДТП в зависимости от типа участника дорожного движения (велосипедисты, пешеходы, мотоциклисты, пассажиры транспортных средств, другие).

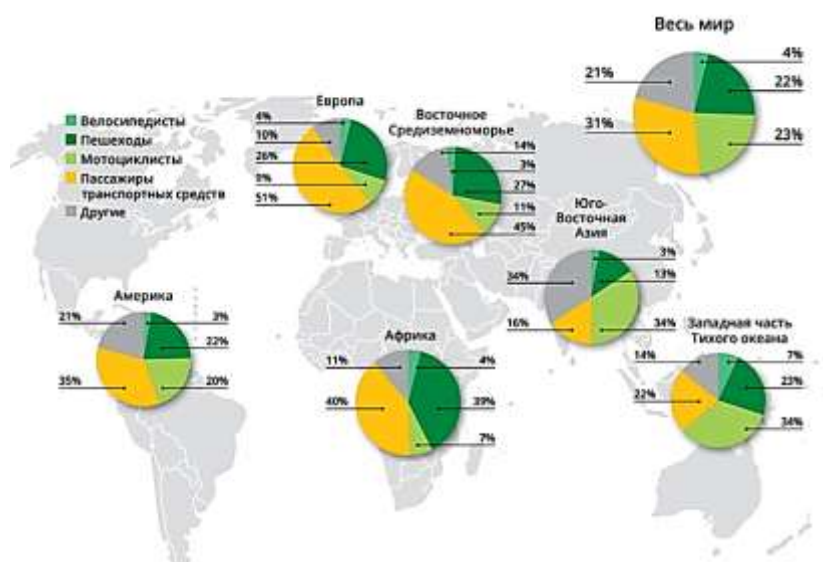


Рисунок 1 – Показатели смертности в результате наступления ДТП по типу участников дорожного движения

Лидером в статистике смертности является Грузия, ее показатели 163,6 тыс. чел на 1 млн. чел. Далее идет Россия – 160,4 тыс. чел., Армения – 114,7 тыс. чел., Индия – 111,5 тыс. чел., США – 109,5 тыс. чел., Болгария – 98,6 тыс. чел., Турция – 95,7 тыс. чел., Латвия – 94,5 тыс. чел., Албания – 93,5 тыс. чел., Украина – 93,0 тыс. чел [5-7].

Низкая смертность в результате ДТП наблюдается в Норвегии – 22,5 тыс. чел., Мальте – 25,5 тыс. чел., Швеции – 26,4 тыс. чел., Великобритании – 27,7 тыс. чел., Швейцарии – 30,5 тыс. чел., Ирландии – 35,8 тыс. чел., Испании – 36,4 тыс. чел., Нидерландах – 36,7 тыс. чел., Японии – 38,3 тыс. чел., Израиле – 38,4 тыс. чел [8-11]. Показатели аварийности представлены на рисунке 2.



Рисунок 2 – Показатели аварийности (тыс. чел. на 1 млн. чел.)

Опубликованный в преддверии первого в истории Совещания ООН на высоком уровне по БДД, призывает к увеличению политических и финансовых обязательств и к включению БДД в основные направления политики развития, включая задачу по сокращению вдвое смертности и травматизма в результате ДТП к 2030 году [12-13].

Для повышения БДД и снижения показателей аварийности и смертности в РФ разработаны следующие нормативно-правовые базы, представленные на рисунке 3.



Рисунок 3 – Нормативно-правовые базы БДД в РФ

Исследования проводились на региональном уровне в период 2019-2023 гг. с учетом базы официальных данных ГИБДД. Показатели аварийности в результате ДТП с участием пешеходов представлены на рисунке 4.

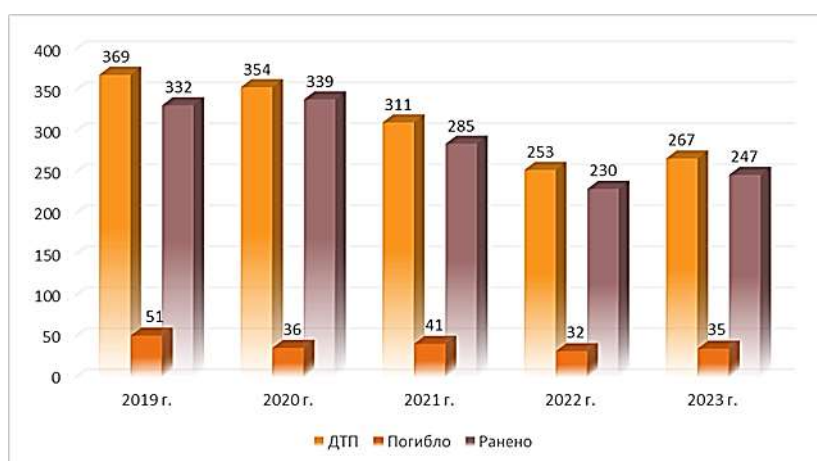


Рисунок 4 – Региональные показатели аварийности в результате ДТП с участием пешеходов за исследуемый период

Зонирование подъездов к городу Белгород по направлениям представлено на рисунке 5. Погибших пешеходов за данный период по направлениям: №1 – 12 чел., №2 – 18 чел., №3 – 14 чел., №4 – 15 чел., №5 – 14 чел., №6 – 9 чел.

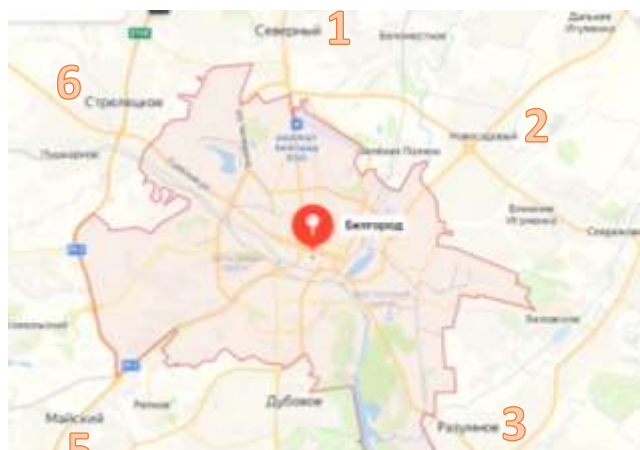


Рисунок 5 – Зонирование подъездов к городу Белгород по направлениям

В результате исследований выявлены основные нарушения со стороны водителей и пешеходов (рис. 6).

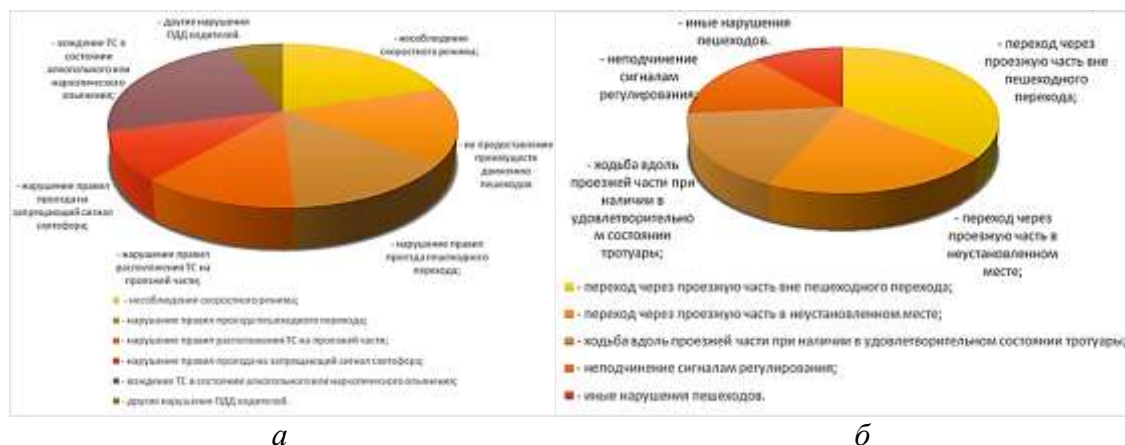


Рисунок 6 – Основные нарушения со стороны водителей: а - нарушения со стороны водителей; б - нарушения со стороны пешеходов

Для снижения смертности на дорогах разработана система управления движением на нерегулируемом пешеходном переходе (ПП), позволяющая снизить количество наездов на пешеходов всех возрастов (рис.7).



Рисунок 7 – Система управления движением на нерегулируемом ПП

Принцип работы данной системы следующий: датчик движения (присутствия) фиксирует объект (пешехода), модуль предупреждения о приближении объекта в зону нерегулируемого ПП передает данные на блок управления и информационное табло. Светодиодные лампы красного и зеленого цветов. Зеленый цвет светодиодных ламп означает отсутствие пешеходов и безостановочное движение транспортного средства. Красный цвет означает приближение пешехода в зону ПП, что позволяет заблаговременно среагировать на ситуацию и применить торможение (остановку ТС) [13-15].

Элементы системы управления движением на нерегулируемом ПП представлены на рисунке 8.



Рисунок 8 – Элементы системы управления на нерегулируемом ПП



Рисунок 9 – Программная платформа для системы управления движением на нерегулируемом ПП

Разработанная система имеет ряд преимуществ [16-17]:

- своевременное предупреждение водителей о приближении пешехода к ПП;
- увеличение освещенности зоны ПП;
- контроль соблюдения ПДД;
- дистанционное управление работой оборудования в зоне ПП и оперативное устранение неполадок;
- при необходимости отображение ПП на интерактивной карте;
- стоимость значительно ниже в сравнении со светофорным регулированием.

Возможность управления посредством

программной платформы также является огромным преимуществом данной системы (рис. 9).

К восточному подъезду г. Белгород была применена данная система по направлениям №2-№4.

Показатели аварийности и смертности на исследуемых направлениях посредством применения разработанной системы управления движением на нерегулируемых пешеходных переходах представлены на рисунках 10-11.

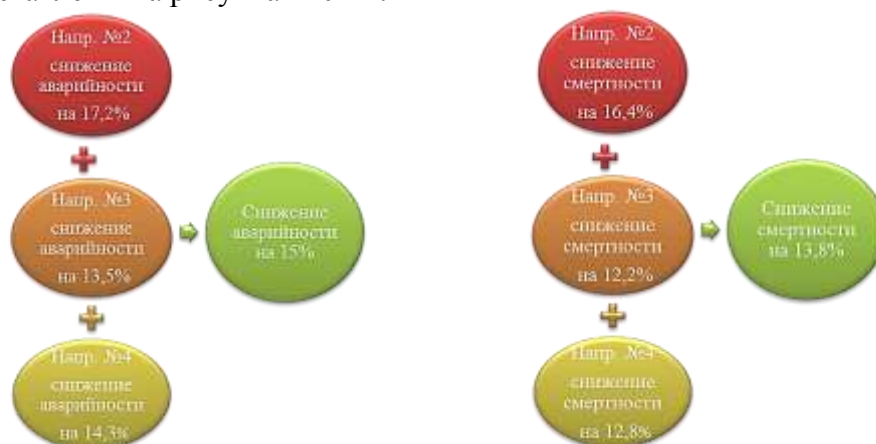


Рисунок 10 – Показатели аварийности и смертности на исследуемых направлениях посредством применения разработанной системы управления движением на нерегулируемых ПП

За исследуемый период было совершено более 1,5 тыс. наездов на пешеходов, 2/3 из которых по вине водителей (рис.12).

На региональном и федеральном уровнях принимают профилактические меры для повышения безопасности дорожного движения. На примере г. Белгород проводят следующие организационные и технические мероприятия [18-21]:

- усовершенствование организации дорожного движения (применение разделительных пешеходных островков в зоне остановочного комплекса, выделение пешеходной фазы

светофорного регулирования, строительство барьерных ограждений на многих участках проезжих частей и автомагистралей);



Рисунок 11 – Снижение показателя аварийности и смертности на исследуемых направлениях при внедрении разработанной системы управления движением на нерегулируемых ПП

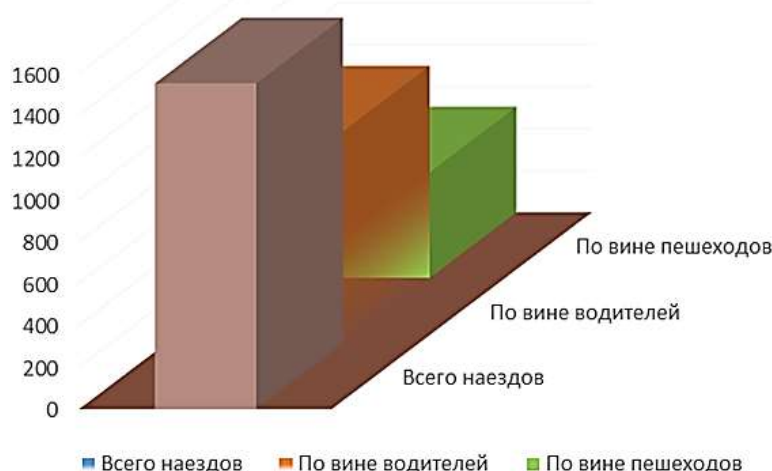


Рисунок 12 - Наезды на пешеходов в зависимости от вины участника

- информационные беседы, тренинги с участниками дорожного движения в образовательных учреждениях (дошкольных, школьных, ссузах, ВУЗах).

Применение нейросетей для управления ПП отражается в положительной динамике для снижения показателей смертности в результате наездов на пешеходов и может практиковаться в дальнейшем. Принцип работы сверточной нейросети (Convolutional Neural Network - CNN) подробно изложен в работе [13].

Выводы

Предложенная система управления движением на нерегулируемых пешеходных переходах удовлетворяет задачи как Стратегии БДД РФ на 2018-2024 гг., так и Транспортной стратегии РФ на период до 2030 года с последующим прогнозом до 2035 года и позволяет достичь снижения показателей аварийности и смертности.

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. Власов В.М., Приходько В.М., Жанказиев С.В., Иванов А.М. Интеллектуальные транспортные системы в автомобильно-дорожном комплексе. М.: МАДИ, М.: ООО «МЭЙЛЕР», 2011. 487 с.
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: учеб. 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: учеб. пособие. М.: МАДИ, 2016. 14 с.
12. Жанказиев С.В. Имитационное моделирование в объектах ИТС: учеб. пособие. М.: МАДИ, 2016. 40 с.
13. Кущенко Л.Е., Кущенко С.В., Камбур А.С., Улинец И.А. Разработка методики определения рационального выбора длительности разрешающего сигнала светофорного регулирования на основании нейронной сети // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №4-1(83). С. 99-107.
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. Jaffe R.S. The US National ITS Architecture. Part 2 Application // Traffic technology international. 1996. P. 71-75.
16. Larson R., Korsak A. A dynamic programming successive technique with convergence proofs // Automatica. Vol. 6. 1970. P. 245-260.
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. P. 21-22.
19. Nuttal I. Will the tigers roar ITS market potential in ASEAN region // Traffic Technology International. 1998. P. 60-64.
20. L. Kushchenko, S. Kushchenko, A. Kambur, A. Novikov. The analyzing of personal and public transport traffic flows in Belgorod agglomeration // Journal of Applied Engineering Science. 2022. Vol. 20(3). P. 700-706.
21. L. Kushchenko, S. Kushchenko, A. Novikov, A. Kambur. 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
Д.т.н., доцент
E-mail: lily-041288@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

Кущенко Сергей Викторович

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, 46
К.т.н., доцент
E-mail: serega_ku@mail.ru

L.E. KUSHCHENKO, A.S. KAMBUR, S.V. KUSCHENKO

INCREASING ROAD SAFETY AT UNCONTROLLED PEDESTRIAN CROSSINGS

Abstract. The regulatory framework of the Russian Federation in the field of road safety is examined in detail. Mortality and accident rates as a result of road accidents were studied depending on the type of road users, broken down by region based on the World Health Organization Report for the past decade. Similar indicators were identified in the Belgorod region. A traffic control system has been developed at uncontrolled pedestrian crossings to reduce mortality and accident rates. Its advantages, principle of operation, as well as elements of the system are listed.

Keywords: control system, unregulated pedestrian crossing, road traffic, mortality, accident rate, 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. Vlasov V.M., Prihod'ko V.M., ZHankaziev S.V., Ivanov A.M. Intellektual'nye transportnye sistemy v avtomobil'no-dorozhnom komplekse. M.: MADI, M.: OOO «MEYLER», 2011. 487 s.
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: ucheb. 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 dannyykh intellektual'nykh transportnykh sistem Belgorodskoy aglomeratsii // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2022. №5(94). S. 116-122.
11. ZHankaziev S.V. Intellektual'nye transportnye sistemy: ucheb. posobie. M.: MADI, 2016. 14 s.
12. ZHankaziev S.V. Imitatsionnoe modelirovanie v ob'ektakh ITS: ucheb. posobie. M.: MADI, 2016. 40 s.
13. Kushchenko L.E., Kushchenko S.V., Kambur A.S., Ulinets I.A. Razrabotka metodiki opredeleniya ratsional'nogo vybora dlitel'nosti razreshayushchego signala svetofornogo regulirovaniya na osnovanii neyronnoy seti // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №4-1(83). S. 99-107.
14. Daniel T., Lepers B. Automatic incident detection: a key tool for intelligent traffic management // Traffic technology international. Annual Review. 1996. R. 158-162.
15. Jaffe R.S. The US National ITS Architecture. Part 2 Application // Traffic technology international. 1996. R. 71-75.
16. Larson R., Korsak A. A dynamic programming successive technique with convergence proofs // Automatica. Vol. 6. 1970. R. 245-260.
17. Kulmala R., Noukka M. Raiting the objectives. Finland's ITS strategy to 2010 // Traffic technology international. 1998. R. 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. L. Kushchenko, S. Kushchenko, A. Kambur, A. Novikov. The analyzing of personal and public transport traffic flows in Belgorod agglomeration // Journal of Applied Engineering Science. 2022. Vol. 20(3). R. 700-706.
21. L. Kushchenko, S. Kushchenko, A. Novikov, A. Kambur. The use of information technology «Auto – Intellect» to improve the quality of traffic management // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021.

Kushchenko Lilia Evgen'evna

Belgorod State Technological University
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46
Doctor of Technical Sciences
E-mail: lily-041288@mail.ru

Kushchenko Sergey Viktorovich

Belgorod state technological university (BSTU)
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 str., 46
Assistant
E-mail: bobeshko.alya@mail.ru

Научная статья

УДК 629.113

doi:10.33979/2073-7432-2024-3-1(86)-83-90

О.П. КОКАРЕВ, А.Г. КИРИЛЛОВ

РЕАЛИЗАЦИЯ РЕСУРСА ЭЛЕМЕНТОВ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Аннотация. В данной статье рассматривается эксплуатация элементов тормозной системы с различными техническими характеристиками с учетом интенсивности работы тормозной системы. Проведен анализ коэффициентов трения различных тормозных колодок. Рассмотрено моделирование с помощью математической модели прогнозирования остаточного ресурса элементов тормозных механизмов с учетом условий эксплуатации. Полученные результаты имеют практическое применение при эксплуатации автомобиля за счет обеспечения работоспособности тормозной системы с корреляцией экономического фактора.

Ключевые слова: тормозная система, условия эксплуатации, удельная работа трения, интенсивность работы, прогнозирование ресурса

Введение

Целью данной работы является разработка научно-методического подхода к вопросу повышения эксплуатации автомобилей за счет реализации более полного ресурса элементов тормозной системы (ТорС) с учетом экономического характера. Сложившаяся на сегодня экономическая ситуация в гражданском автомобилестроении обращает на себя пристальное внимание со стороны автовладельцев в вопросе эффективности эксплуатации автомобилей, особенно это касается аспекта финансового обеспечения технической эксплуатации автомобилей (ТЭА). За последние годы экономический характер технической эксплуатации автомобильного транспорта значительно усложнился. В первую очередь изменения произошли на рынке запасных частей. Стоимость некоторых запасных частей увеличилась кратно за период с 2021 г. по 2023 год [1, 2], что отражается на эффективности эксплуатации автомобиля. Техническое состояние автомобилей напрямую оказывает влияние на безопасность дорожного движения. Одной из главной системы, от которой зависит активная безопасность автомобиля ТорС. Поэтому обеспечение работоспособности элементов ТорС является приоритетным в ТЭА. По ТорС и повышению эффективности эксплуатации автомобилей проведены многочисленные исследования, результаты которых значительно улучшили показатели надежности [3]. Развитие информационных технологий и цифровые методы обработки информации способствуют углубленному анализу статистических данных о надежности и диагностированию технического состояния элементов автомобилей [3]. Работа тормозных колодок (ТК) и тормозных дисков (ТД) происходит в условиях энергетического нагружения. Для гражданских автомобилей марки *Kia ceed* оригинальные ТД производятся из серого чугуна для передней и задней оси, твердость которых находится в диапазоне 187 – 241 НВ в соответствии со стандартом *SAE J431*. Значение коэффициента теплопроводности чугунных ТД в эксплуатации не меняется, т.е. *const*. В зависимости от материалов изготовления и их пропорции, тормозные колодки могут иметь различное значение коэффициента трения [5], которое может существенно влиять на изнашивание пары трения колодка-диск. Классификация значений коэффициента трения μ обозначается кодами из латинских букв от *C* = 0,15 до *G* = 0,55 и др. [6].

Материал и методы

Настоящее исследование базируется на опубликованных ранее в научном сообществе научных аспектах и результатах, методах моделирования и основах теории надежности технических систем. Анализ результатов, выполненных теоретических и практических исследо-

© О.П. КОКАРЕВ, А.Г. КИРИЛЛОВ, 2024

ваний, описанных в научных работах [7-11] показывает, что ресурс ТД и ТК может иметь различное значение, в зависимости от коэффициента трения применяемых ТК (рис. 1).

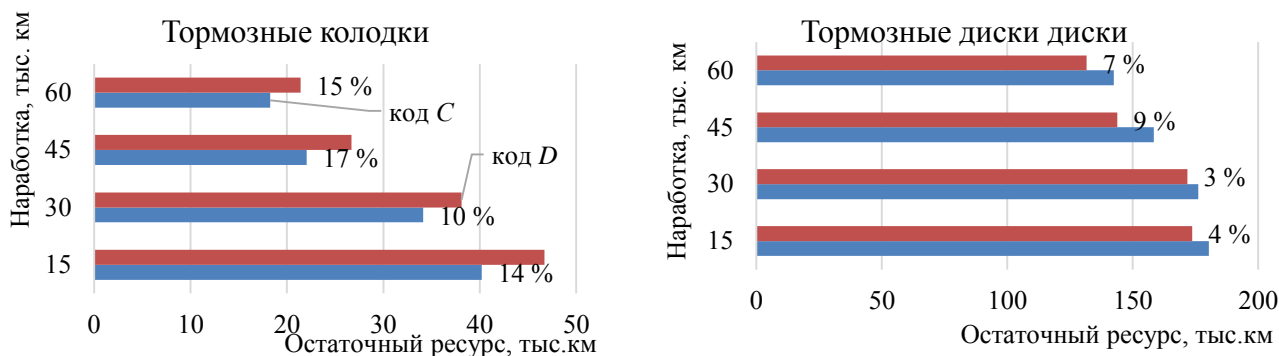


Рисунок 1 – Анализ остаточных ресурсов элементов ТормС передней оси с разными коэффициентами трения ТК

Теория / Расчет

В зависимости от применяемых ТК, эксплуатационный ресурс элементов тормозного механизма (ТМ) может различаться при равных условиях движения. Анализ рисунка 1 показывает актуальность научно-методического подхода к вопросу реализации ресурса элементов ТМ. В нормативно-технической документации завода-изготовителя автомобилей марки КИА отсутствуют рекомендации, позволяющие спрогнозировать остаточный ресурс ТК и ТД в зависимости от режимов эксплуатации автомобиля и применяемых ТК, что может снижать эффективность эксплуатации ТормС. Оценке эффективности эксплуатации элементов ТормС будет способствовать методика прогнозирования ресурса [12, 13], которая базируется на системе уравнений:

$$\left\{ \begin{aligned} q_{Ai}^{мси} &= \frac{p B_i \sum_{k=0}^{k=n} \left(\frac{(v_k + v_{k+1}) \Delta t}{2} \right)}{\sum F_{in}} L_{ТО} \cdot K_K \\ q_{Ai}^{ост} &= \frac{p B_i \sum_{k=0}^{k=n} \left(\frac{(v_k + v_{k+1}) \Delta t}{2} \right) N}{\sum F_{in} U_{maxi}} (H_{\phi i} - H_{пред i}) \end{aligned} \right. , \quad (1)$$

где $q_{Ai}^{мси}$, $q_{Ai}^{ост}$ – удельные межсервисная и остаточная работы трения i – ой оси, кДж/см²;

p – давление тормозной жидкости в гидравлическом приводе ТормС, МПа;

B_i – комплексный параметр тормозного механизма i – ой оси, см²;

v_k – скорость k -ого интервала при торможении, м/с;

n – количество интервалов в рабочем цикле ТормС;

Δt – время трения ТК и ТД интервала торможения, с;

$L_{ТО}$ – межсервисный интервал наработки технического обслуживания, км;

K_K – коэффициент Кокарева;

$\sum F_{in}$ – суммарная площадь накладок ТК i – ой оси, см²;

N – количество рабочих циклов ТормС, рц;

U_{maxi} – максимальное значение износа элемента ТормС i –ой оси, мм;

$H_{\phi i}$, $H_{пред i}$ – фактическое и предельное значение толщины элемента ТормС i –ой оси, мм.

Приведенная математическая модель прогнозирования ресурса элементов ТормС представляет возможность моделировать значения удельных работ при эксплуатации ТК с определенным коэффициентом трения и с учетом интенсивности работы ТормС. Интенсивность работы ТормС при различных соотношениях режимов эксплуатации автомобиля характеризуется K_K и имеет следующие значения (табл. 1). Для более удобного выбора интенсивности работы ТормС при различных соотношениях режимов эксплуатации применяется дополнительная классификация условий движения (ДКУД).

Таблица 1 – Интенсивность работы ТопС

Режим эксплуатации автомобиля	Соотношение режимов, %								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Город, L_1	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Трасса, L_2	90	80	70	60	50	40	30	20	10
K_K	1,17	1,93	2,69	3,45	4,21	4,97	5,73	6,49	7,25
ДКУД	I Группа За город			II Группа Работа-дом-за город		III Группа Работа- дом		IV Группа Такси, курьеры и тд.	

Наибольшее значение K_K (табл. 1) относится к соотношению режимов эксплуатации автомобиля: 90 % пробег в режиме «Город» и 10 % пробег в режиме «Трасса». При соотношении 90/10 количество рабочих циклов ТопС составляет $7,25 \text{ км}^{-1}$. Эксплуатация с интенсивностью работы ТопС $K_K=7,25$ характерна для IV группы ДКУД – такси, курьеры и пр. Процесс изнашивания элементов ТопС при интенсивности работы ТопС с $K_K=7,25$ значительно отличается от интенсивности работы ТопС с $K_K=1,17$, что будет оказывать влияние на ресурс элементов ТопС [12, 13].

Для передней оси автомобиля *Kia ceed* применяются тормозные колодки марки *TRW GDB 3450* с коэффициентом трения 0,35 (E). Учитывая значения технических характеристик элементов тормозной системы автомобиля *Kia ceed* с механической коробкой переключения передач [14], определим значения комплексного параметра тормозного механизма (ТМ) по формуле [Ошибка! Источник ссылки не найден.15]:

$$B_i = F_{\text{ци}} \frac{r_{\text{три}}}{r_d} K_3 \eta, \quad (2)$$

где $F_{\text{ци}}$ – площадь цилиндра тормозного суппорта i -ой оси, см^2 ;

$r_{\text{три}}$ – средний радиус трения тормозных дисков и колодок i -ой оси, см ;

r_d – динамический радиус колеса, см ;

K_3 – коэффициент эффективности дисковых тормозных механизмов, принимается равным коэффициенту трения μ ;

η – коэффициент полезного действия тормозного механизма.

Подставив в математическое выражение (2) значения технических характеристик ТопС автомобиля *Kia ceed*, определим значения комплексного параметра передней и задней оси автомобиля при использовании ТК с различными коэффициентами трения μ (таблица 2).

Таблица 2 – Значения комплексного параметра ТМ

Параметр	Значения				
Буквенный индекс ТК	D	E	F	G	H
Коэффициент трения ТК, μ	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Комплексный параметр передней оси B_1 , см^2	11,1	16,6	22,2	27,7	33,2
Комплексный параметр задней оси B_2 , см^2	2,8	4,1	5,5	6,9	8,3

Значения комплексного параметра (табл. 2) в зависимости от коэффициента трения ТК могут изменяться в разы. Математическое отношение $\frac{pB_i \sum_{i=0}^{i=n} \left(\frac{(v_i + v_{i+1}) \Delta t}{2} \right)}{\sum F_{\text{ин}}}$ в формуле (1) представляет собой удельную работу трения в тормозном механизме q_{Ai} :

$$q_{Ai} = \frac{pB_i \sum_{k=0}^{k=n} \left(\frac{(v_k + v_{k+1}) \Delta t}{2} \right)}{\sum F_{\text{ин}}}. \quad (3)$$

Отношение максимального значения линейного износа $U_{\text{max}i}$ элемента ТМ i -ой оси автомобиля и количества рабочих циклов ТопС N определяет удельный износ q_{Ui} за рабочий цикл:

$$q_{Ui} = \frac{U_{\text{max}i}}{N}, \quad (4)$$

Сопоставляя выражения (3) и (4), получим энергетическую интенсивность изнашивания элемента ТМ i -ой оси автомобиля J_{qAi} :

$$J_{qAi} = \frac{q_{Ai}}{q_{Ui}}. \quad (5)$$

Процесс изнашивания элементов ТМ является определяющим процессом, от которого зависит их ресурс. В общем случае, изнашивание в процессе торможения автомобиля может происходить с разной энергетической интенсивностью, и, в зависимости от применяемых материалов ТК и ТД с разным значением износа. В ходе выполнения исследования авторами была выполнена оценка процесса изнашивания, в зависимости от разных материалов применяемых элементов ТМ и режимов эксплуатации автомобиля. результаты исследования отразим в таблице 3 и на рисунке 2.

Таблица 3 – Удельная работа трения в ТМ от коэффициента трения ТК (кДж/см²)

Коэффициент трения ТК	D (0,2)	E (0,3)	F (0,4)	G (0,5)	H (0,6)
Передняя ось	0,003	0,0045	0,006	0,0062	0,009
Задняя ось	0,0013	0,0019	0,0025	0,0029	0,0038

Определенные значения удельной работы трения в ТМ передней и задней оси (табл. 3) будут справедливы для тормозных колодок разных производителей (*TRW, Kia/Hyundai, Fenox, AMD, Valeo*) и оригинальных тормозных дисков (производитель *Kia/Hyundai*).

Зависимость удельного износа от применяемых элементов ТМ из разных материалов отразим графически.

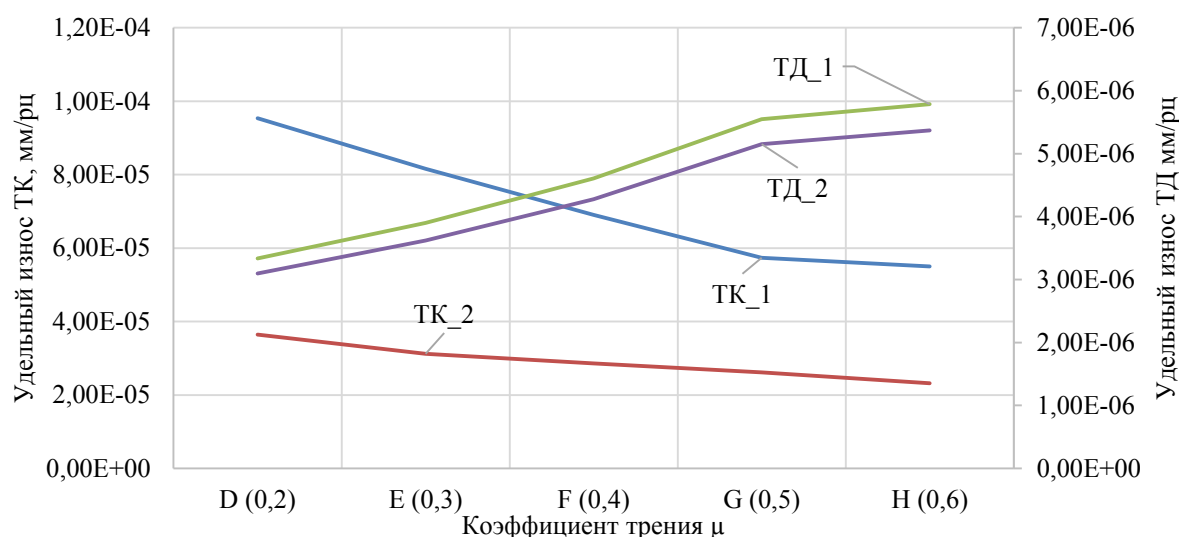


Рисунок 2 – Зависимость износа элементов ТМ от коэффициента трения ТК

ТК_1, ТК_2 – тормозные колодки передней и задней оси;

ТД_1, ТД_2 – тормозные диски передней и задней оси соответственно

По формуле (5) найдем энергетическую интенсивность изнашивания J_{qAi} элементов ТМ и сведем результаты расчета в таблицу 4.

Таблица 4 – Энергетическая интенсивность изнашивания элементов ТМ (кДж/см²)/мм

Элемент ТМ	Коэффициент трения				
	D (0,2)	E (0,3)	F (0,4)	G (0,5)	H (0,6)
Тормозные колодки передней оси	31,47	55,17	86,92	108,13	163,73
Тормозные колодки задней оси	35,67	60,96	87,54	111,03	164,01
Тормозные диски передней оси	899,10	1153,85	1302,11	1117,65	1555,34
Тормозные диски задней оси	419,75	524,86	584,51	563,21	707,50

Номинальное значение толщины $H^{ном}$ тормозной колодки марки *TRW GDB 3450* составляет 17,5 мм, а предельное $H^{пред} = 7,0$ мм. Определим рабочую толщину $H^{раб}$ ТК как

разность:

$$H_{\text{TK}_1}^{\text{раб}} = H^{\text{ном}} - H^{\text{пред}} = 17,5 - 7,0 = 10,5 \text{ мм.} \quad (6)$$

Используя формулу (5) определим рабочие толщины элементов ТМ передней и задней оси:

- $H_{\text{TK}_2}^{\text{раб}}$ задних ТК = 9,5 мм;
- $H_{\text{ТД}_1}^{\text{раб}}$ передних ТД = 4,0 мм;
- $H_{\text{ТД}_2}^{\text{раб}}$ задних ТД = 1,6 мм.

Приведенный выше математический анализ способствует определению значений энергетических характеристик, в зависимости от применения ТК с разными коэффициентами трения и эксплуатации в различных условиях движения. Определенные значения энергетических характеристик (q_{Ai} , J_{qAi} , $q_{Ai}^{\text{мси}}$, $q_{Ai}^{\text{ост}}$), позволяют оценить уровень y_{ji}^p реализации рабочей толщины j -ого элемента ТМ i -ой оси. Чем выше значение y_{ji}^p , тем максимальнее реализуется рабочая толщина элемента, соответственно выше эффективность эксплуатации. Уровень реализации y_{ji}^p определим по выражению:

$$y_{ji}^p = 1 - \left(\frac{H_{ji}^{\text{раб}} - \left(\frac{H_{ji}^{\text{раб}} \cdot q_{Ai}^{\text{мси}}}{q_{Ai}^{\text{ост}}} \right) \cdot N^{\text{то}}}{H_{ji}^{\text{раб}}} \right), \quad (7)$$

где $N^{\text{то}}$ – количество технических обслуживаний, в период эксплуатации которых значение остаточной толщины элемента будет в допустимых пределах.

Количество технических обслуживаний определяется, как $N^{\text{то}} = \left\lfloor \frac{q_{Ai}^{\text{ост}}}{q_{Ai}^{\text{мси}}} \right\rfloor$ и принимается целым числом с округлением вниз.

В соответствии с рисунком 1, коэффициент трения ТК оказывает влияние не только на ресурс самих колодок, но и на ресурс тормозных дисков [16, 17]. Используя рассчитанные уровень реализации рабочей толщины ТК и ТД, найдем коэффициент эффективности эксплуатации ТМ соответствующей оси автомобиля:

$$K_{\text{ТМ}i}^{\text{эф}} = y_{\text{ТК}i}^p \cdot y_{\text{ТД}i}^p, \quad (8)$$

Выполним расчет по формуле (7) и (8) для элементов ТМ с учетом условий движения и сведем полученные результаты в таблицу 5.

Таблица 5 – Эффективность эксплуатации элементов ТМ

Классификация ТК			ДКУД			
			I Группа	II Группа	III Группа	IV Группа
		K_k	2,69	4,21	5,73	7,25
1		2	3	4	5	6
D (0,2)	Передняя ось	$y_{\text{ТК}1}^p$	0,73	0,57	0,78	0,99
		$y_{\text{ТД}1}^p$	0,98	0,95	0,93	1,00
		$K_{\text{ТМ}1}^{\text{эф}}$	0,72	0,54	0,73	0,99
	Задняя ось	$y_{\text{ТК}2}^p$	0,94	0,97	0,99	0,85
		$y_{\text{ТД}2}^p$	0,94	0,98	1,00	0,84
		$K_{\text{ТМ}2}^{\text{эф}}$	0,88	0,95	0,99	0,72
E (0,3)	Передняя ось	$y_{\text{ТК}1}^p$	0,94	0,98	0,67	0,84
		$y_{\text{ТД}1}^p$	0,98	0,99	0,92	0,95
		$K_{\text{ТМ}1}^{\text{эф}}$	0,92	0,97	0,62	0,81
E (0,3)	Задняя ось	$y_{\text{ТК}2}^p$	0,93	0,85	0,86	0,74
		$y_{\text{ТД}2}^p$	0,92	0,87	0,97	0,99
		$K_{\text{ТМ}2}^{\text{эф}}$	0,86	0,74	0,84	0,73

F (0,4)	Передняя ось	y_{TK1}^p	0,80	0,83	0,57	0,71
		y_{TD1}^p	0,98	0,95	0,99	0,88
		$K_{TM1}^{эф}$	0,78	0,79	0,56	0,63
	Задняя ось	y_{TK2}^p	0,97	0,95	0,80	0,98
		y_{TD2}^p	0,97	0,95	0,78	0,98
		$K_{TM2}^{эф}$	0,94	0,91	0,62	0,96
G (0,5)	Передняя ось	y_{TK1}^p	0,88	0,69	0,94	0,59
		y_{TD1}^p	0,95	0,96	0,95	0,90
		$K_{TM1}^{эф}$	0,84	0,66	0,90	0,54
	Задняя ось	y_{TK2}^p	1,00	0,88	0,95	0,91
		y_{TD2}^p	0,99	0,99	0,98	0,95
		$K_{TM2}^{эф}$	0,98	0,87	0,93	0,86
H (0,6)	Передняя ось	y_{TK1}^p	0,84	0,99	0,90	0,57
		y_{TD1}^p	0,99	0,91	0,99	0,94
		$K_{TM1}^{эф}$	0,84	0,91	0,90	0,54
	Задняя ось	y_{TK2}^p	0,99	0,93	0,85	0,82
		y_{TD2}^p	0,95	0,85	0,87	0,73
		$K_{TM2}^{эф}$	0,93	0,79	0,74	0,60

В таблице 5 красным цветом выделены ячейки с низкими значениями коэффициентов эффективности эксплуатации ТМ $K_{TMi}^{эф}$, а зеленым наибольшие значения.

Результаты и обсуждение

В I группе эксплуатации ДКУД (табл. 5) наибольшую эффективность эксплуатации имеет ТМ передней оси с применением ТК с буквенным индексом *E*, а для задней оси ТК с индексом *G*. Наименьшая эффективность эксплуатации ТМ с применением ТК с индексом *D* для передней и задней оси. Во II группе эффективнее применять ТК с индексом *D* для передней оси и ТК с индексом *E* задней оси. В III группе наибольшая эффективность эксплуатации ТМ достигается с использованием ТК с индексом *G* для передней оси и ТК с индексом *D* для задней оси. В IV группе эффективнее применять ТК с индексом *D* для передней оси и ТК с индексом *F* для задней оси. Тормозные колодки с индексом *H* не имеют наибольших значений коэффициентов эффективности эксплуатации ТМ, а применение для IV группы имеет самую низкую эффективность для передней и задней оси.

Выводы

Интенсивность работы ТопС влияет на эксплуатационный ресурс ее элементов. Результаты исследования энергетических характеристик и интенсивности работы ТопС позволяют оценить эффективность эксплуатации элементов ТМ с точки зрения реализации ресурса. Результаты таблицы 5 отражают эффективность эксплуатации ТК и ТД в зависимости от условий движения. Математическая модель прогнозирования ресурса ТК и ТД позволила получить результаты, способствующие повышению эффективности эксплуатации элементов ТМ в ТЭА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поддубная М.Н., Симонянц А.М. Структурный и динамический анализ рынка автозапчастей: вызовы и возможности для маркетинговых стратегий // Экономика и бизнес: теория и практика. Новосибирск: ООО «Капитал», 2023. С. 106-110.
2. Автомобильный портал AUTONEWS [Электронный ресурс]. URL: <https://www.autonews.ru/news/632877399a79475a51de27c6>.
3. Загородний Н.А., Загородний Н.А. Повышение эффективности работы автомобильного карьерного транспорта // Студенческий научный форум. 2017.
4. Молев Ю.И., Червастов М.Г. Оценка динамических свойств автомобиля на основе частотных ха-

- рактических // Организация и безопасность дорожного движения. материалы XIII Национальной научно-практической конференции с международным участием. Тюмень, 2020. С. 189-194.
5. Brake Lining Quality Test Procedure (STABILIZED Nov 2012) J661_202110. Current. Revised 2021.
6. Виды тормозных колодок [Электронный ресурс] / Информационный портал. URL: <https://avto-moto-shtuchki.ru/avtotekhnika/vidy-tormoznykh-kolodok.html>.
7. Кокарев О.П., Цыганков А.Д., Новожилов Д.А. Обзор датчиков определения предельного износа тормозной колодки // Сборник статей по материалам LXXVIII студенческой международной научно-практической конференции. Новосибирск: АНС «СибАК», 2019. С. 261-265.
8. Кокарев О.П., Кириллов А.Г., Ратников А.С. Методика оперативного прогнозирования остаточного ресурса элементов тормозной системы // Вестник гражданских инженеров. 2020. №78. Т1. С. 168-172.
9. Харб М.Ж. Разработка диагностических признаков тормозной системы легкового автомобиля с АБС: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. Волгоград, 2000. 153 с.
10. Молев Ю.И., Вахидов У.Ш., Куркин А.А., Левшунов Л.С. и др. Обеспечение устойчивости транспортно-технологических машин сельскохозяйственного назначения при торможении на шинах сверхнизкого давления // Инженерные технологии и системы. 2020. Т. 30. №4. С. 609-623.
11. Загородний Н.А., Шутов А.И. Аналитическое определение параметров качения автомобильного колеса // Автомобильная промышленность. №2. Москва, 2008. С. 20-21.
12. Кокарев О.П., Кириллов А.Г., Нуждин Р.В. Исследование влияния режимов работы тормозных механизмов на надежность элементов тормозной системы // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2022. №1(59). С. 23-27.
13. Кокарев О.П., Кириллов А.Г., Нуждин Р.В. Оценка ресурса элементов тормозной системы // Мир транспорта и технологических машин. №3-3(82). 2023. Орел.
14. Kmanual.net: сайт. URL: <http://www.kmanual.net/Ceed/ED/chassis/brake/tehnicheskie-harakteristiki-tormoznoy-sistemy>.
15. Соцков Д.А., Загородний В.В. Математическая модель автомобиля в процессе торможения // Безопасность и надежность автомобиля: Межвуз. сб. Москва. 1983. С. 58-69.
16. Аракелян И.С., Соцков Д.А. Повышение эффективности работы двигателя спортивного автомобиля путем использования данных комплексной телеметрии // Совершенствование мощностных, экономических и экологических показателей ДВС: Материалы VII Международной научно-практической конференции. Владимир. 2001. С. 356-358.
17. Аракелян И.С., Соцков Д.А. Анализ эффективности тормозной системы спортивного автомобиля // Актуальные проблемы управления качеством производства и эксплуатации автотранспортных средств: Материалы IX Международной научно-практической конференции. Владимир, 2002. С. 67-72.

Кокарев Олег Петрович

Владимирский государственный университет
Адрес: 600000, Россия, г. Владимир, ул. Горького 87
Соискатель, заведующий лабораториями
E-mail: angelok778@mail.ru

Кириллов Александр Геннадьевич

Владимирский государственный университет
Адрес: 600000, Россия, г. Владимир, ул. Горького 87
К.т.н., доцент
E-mail: angelok778@mail.ru

O.P. KOKAREV, A.G. KIRILLOV

**THE REALIZATION OF THE RESOURCE OF THE ELEMENTS
OF THE BRAKING SYSTEM IN OPERATION**

***Abstract.** This article discusses the operation of brake system elements with different technical characteristics, taking into account the intensity of the brake system. The analysis of the friction coefficients of various brake pads is carried out. Modeling is considered using a mathematical model for predicting the residual life of brake elements, taking into account operating conditions. The results obtained have practical application in the operation of a car by ensuring the operability of the braking system with a correlation of the economic factor.*

Keywords: *braking system, operating conditions, specific friction work, work intensity, resource forecasting*

BIBLIOGRAPHY

1. Poddubnaya M.N., Simonyants A.M. Strukturnyy i dinamicheskiy analiz rynka avtozapchastey: vyzovy i vozmozhnosti dlya marketingovykh strateg // *Ekonomika i biznes: teoriya i praktika*. Novosibirsk: OOO «Kapital», 2023. S. 106-110.
2. Avtomobil'nyy portal AUTONEWS [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.autonews.ru/news/632877399a79475a51de27c6>.
3. Zagorodniy N.A., Zagorodniy N.A. Povyshenie effektivnosti raboty avtomobil'nogo kar'ernogo transporta // *Studencheskiy nauchnyy forum*. 2017.
4. Molev YU.I., Cherevastov M.G. Otsenka dinamicheskikh svoystv avtomobilya na osnove chastotnykh kha-rakteristik // *Organizatsiya i bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya. materialy VIII Natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*. Tyumen', 2020. S. 189-194.
5. Brake Lining Quality Test Procedure (STABILIZED Nov 2012) J661_202110. Current. Revised 2021.
6. Vidy tormoznykh kolodok [Elektronnyy resurs] / Informatsionnyy portal. URL: <https://avto-moto-shtuchki.ru/avtotehnika/vidy-tormoznykh-kolodok.html>.
7. Kokarev O.P., Tsigankov A.D., Novozhilov D.A. Obzor datchikov opredeleniya predel'nogo iznosa tormoznoy kolodki // *Sbornik statey po materialam LXXVIII studencheskoy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Novosibirsk: ANS «SibAK», 2019. S. 261-265.
8. Kokarev O.P., Kirillov A.G., Ratnikov A.S. Metodika operativnogo prognozirovaniya ostatochnogo resursa elementov tormoznoy sistemy // *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2020. №78. T.1. S. 168-172.
9. Harb M.ZH. Razrabotka diagnosticheskikh priznakov tormoznoy sistemy legkovogo avtomobilya s ABS: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.22.10. Volgograd, 2000. 153 s.
10. Molev YU.I., Vakhidov U.S.H., Kurkin A.A., Levshunov L.S. i dr. Obespechenie ustoychivosti transportno-tehnologicheskikh mashin sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya pri tormozhenii na shinakh sverkhnizkogo davleniya // *Inzhenernye tekhnologii i sistemy*. 2020. T. 30. №4. S. 609-623.
11. Zagorodniy N.A., Shutov A.I. Analiticheskoe opredelenie parametrov kacheniya avtomobil'nogo koleasa // *Avtomobil'naya promyshlennost'*. №2. Moskva, 2008. S. 20-21.
12. Kokarev O.P., Kirillov A.G., Nuzhdin R.V. Issledovanie vliyaniya rezhimov raboty tormoznykh mekhanizmov na nadezhnost' elementov tormoznoy sistemy // *Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa*. 2022. №1(59). S. 23-27.
13. Kokarev O.P., Kirillov A.G., Nuzhdin R.V. Otsenka resursa elementov tormoznoy sistemy // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. №3-3(82). 2023. Orel.
14. Kmanual.net: sayt. URL: <http://www.kmanual.net/Ceed/ED/chassis/brake/tehnicheskie-harakteristiki-tormoznoy-sistemy>.
15. Sotskov D.A., Zagorodniy V.V. Matematicheskaya model' avtomobilya v protsesse tormozheniya // *Bezopasnost' i nadezhnost' avtomobilya: Mezhvuz. sb.* Moskva. 1983. S. 58-69.
16. Arakelyan I.S., Sotskov D.A. Povyshenie effektivnosti raboty dvigatelya sportivnogo avtomobilya putem ispol'zovaniya dannykh kompleksnoy teletmetrii // *Sovershenstvovanie moshchnostnykh, ekonomicheskikh i ekologicheskikh pokazateley DVS: Materialy VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Vladimir. 2001. S. 356-358.
17. Arakelyan I.S., Sotskov D.A. Analiz effektivnosti tormoznoy sistemy sportivnogo avtomobilya // *Aktual'nye problemy upravleniya kachestvom proizvodstva i ekspluatatsii avtotransportnykh sredstv: Materialy IX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Vladimir, 2002. S. 67-72.

Kokarev Oleg Petrovich

Vladimir State University

Address: 600000, Russia, Vladimir, Gorky str., 87

Applicant, head of laboratories

E-mail: angelok778@mail.ru

Kirillov Alexander Gennadievich

Vladimir State University

Address: 600000, Russia, Vladimir, Gorky str., 87

Candidate of technical sciences

E-mail: angelok778@mail.ru

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья

УДК 656.051

doi:10.33979/2073-7432-2024-3-1(86)-91-100

О.О. ПИЛИПЕЦ

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ: ЭТАПЫ РЕАЛИЗАЦИИ И ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ

Аннотация. В данной статье изложены основные особенности развития интеллектуальных транспортных систем (далее ИТС), а также базовые нормативно-правовые акты в сфере ИТС. Основной целью данной статьи является проведение анализа в контексте развития ИТС и дальнейшего применения в транспортном комплексе России, в исследовании обозначены ключевые из существующих подходов в области структурирования ИТС, являющихся ключевыми показателями (критериями) качественного и эффективного развития всех сфер экономики, как на уровне Российской Федерации, так и Евразийского экономического союза. Методической основой данного исследования является анализ, индуктивный анализ, а также синтез.

Ключевые слова: Интеллектуальные транспортные системы, стандартизация ИТС, нормативно-правовое регулирование, улично-дорожная сеть, нейронные сети, мониторинг дорожного движения, федеральная сеть ИТС, ЕАЭС, Дорожная деятельность, Транспортный комплекс

Введение

Интеллектуальные транспортные системы (ИТС) являются одним из основных элементов транспортной инфраструктуры, которые имеют существенное значение для улучшения безопасности, снижения транспортных пробок, сокращения времени в пути, повышения комфорта и эффективности транспортной системы в целом. Развитие ИТС идет с высокой скоростью, прежде всего благодаря появлению новых технологий, таких как Интернет вещей (IoT), облачные вычисления, искусственный интеллект (AI) и машинное обучение (ML).

Одной из заметных тенденций в развитии ИТС является повышение уровня автоматизации транспортного потока. В частности, автоматизация процесса управления движением улучшает безопасность на дорогах, снижает затраты на содержание транспортной инфраструктуры и повышает эффективность использования дорожного пространства. Кроме того, в ИТС все больше внедряются информационные технологии, которые повышают качество обслуживания пользователей, усиливают контроль за выполнением правил дорожного движения и сокращают время в пути.

Также значительное внимание уделяется развитию «умных» транспортных сетей для оптимизации потока грузов и пассажиров. Это включает в себя использование различных методов и систем управления движением, которые на основе данных обеспечивают более эффективную координацию транспортных потоков на дорогах, воздушных портах и морских портах, что позволяет снизить время, затрачиваемое на транспортировку грузов или пассажиров.

Однако развитие ИТС также сопряжено с несколькими вызовами и проблемами, которые нужно решать. В первую очередь, это обеспечение безопасности и защиты личных данных пользователей, улучшение работоспособности системы при ее масштабировании и расширении, а также ограничение негативного воздействия на окружающую среду [1].

Современный этап развития общества, особенности внедрения экономических моделей и механизмов имеют ярко выраженный тренд на «сжатие» пространства, который проявляется в повышении концентрации населения и, как следствие, экономической активности в городских агломерациях. В этой связи уровень развития транспортной инфраструктуры,

в контексте экономического развития городских агломераций имеет высокую степень влияния. Таким образом, возникает проблема, пути решения которой находятся в синергетической плоскости, объединяющей производственно-экономическую, социально-инфраструктурную и нормативно-правовую сферы деятельности. С учетом обозначенной проблемы, текущих тенденций, актуальность мониторинга дорожного движения улично-дорожной сети в условиях функционирования интеллектуальных транспортных систем (ИТС) представляется высокой [2].

Материал и методы

В данном исследовании основным методом, используемым для получения результатов, является анализ данных. При проведении анализа нормативно-правовой базы нами были использованы официальные источники, указанные ниже.

При анализе прогресса в реализации политики в отношении ИТС был использован официальный отчет Евразийского Экономического Союза.

Кроме того, в данном исследовании приведен анализ существующих потоков данных и формирование предложений по структурированию, упорядочиванию и унификации информационных потоков в контексте повышения эффективности использования программного обеспечения (ПО) для мониторинга транспорта, в условиях улично-дорожной сети [3].

В данной статье предлагается один из возможных вариантов структуры потоков данных, который может быть использован для создания инструмента для мониторинга дорожного движения в рамках улично-дорожной сети городской агломерации. Использование подобного подхода, позволит производить анализ больших данных в потоковом режиме (онлайн) а также осуществлять мониторинг транспорта и прогнозировать возможность возникновения скопления транспорта и дорожно-транспортных происшествий (ДТП).

Однако, необходимо учитывать, что, при проработке принципов создании подобных систем необходимо руководствоваться нормативно-правовыми актами и соглашениями, которые могут выражаться как в обязательных требованиях, так и заранее структурированном плане действий для отдельно взятой сферы деятельности. В таком контексте, для нас представляет интерес совокупность регламентирующих документов.

Теория

На данный момент нормативно-правовая база сферы ИТС находится на стадии формирования, выражается это в том, что Федеральный закон «О национальной сети ИТС» находится на стадии проектирования, при этом, необходимо отметить, что существуют и другие регламентирующие документы, которые могут содержать в себе требования и описание ИТС: Федеральный закон от 08 ноября 2007 г. № 257-ФЗ «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации» [4]. Федеральный закон от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» [5], а также федеральное законодательство в области безопасности критической информационной инфраструктуры, персональных данных и технического регулирования.

Стандартизация в сфере интеллектуальных транспортных систем представлена следующими государственными национальными стандартами:

- ГОСТ Р 56829-2015 «Интеллектуальные транспортные системы. Термины и определения.», Дата введения 2016-06-01 [6];
- ГОСТ Р 56294-2014 «Интеллектуальные транспортные системы. Требования к функциональной и физической архитектурам интеллектуальных транспортных систем» [7];
- ГОСТ Р ИСО 14813-1-2011 «Интеллектуальные транспортные системы. Схема построения архитектуры интеллектуальных транспортных систем» [8];
- ГОСТ Р ИСО 17438-1-2017 «Интеллектуальные транспортные системы. Навигация внутри помещений для персонала и транспортных средств с использованием ИТС станций» [9];
- проект государственного стандарта «интеллектуальные транспортные системы. информационная безопасность. надёжность обмена данными между инфраструктурой и автомобилем» [10].

Анализ реализации утвержденных программных документов и нормативно-правовой

базы позволяет утверждать, что сегодня разработка и определение единых подходов и методик работы с ИТС в области мониторинга транспорта происходит не только на уровне Российской Федерации, но и на уровне Евразийского Экономического Союза (ЕАЭС) [11]. Данный подход, при котором все государства – члены союза осуществляют единую политику в области создания и эксплуатации ИТС, вырабатывают общие правила деятельности - играет определяющую роль в нынешних геополитических и экономических условиях. Однако, необходимо отметить, что на данный момент, в силу индивидуальных особенностей и интересов каждого из государств-членов ЕАЭС, прогресс в реализации единой политики, в области ИТС не равномерен [12].

Это выражается в, том что существуют определенные отличия в уровнях реализации единой политики в области ИТС:

- единое понимание и определение термина ИТС выработано только в Российской Федерации, Республике Беларусь и Казахстане;
- нормативно правовые акты, регулирующие сферу ИТС разработаны только в Российской Федерации, Казахстане, при этом необходимо отметить, что в Республике Беларусь данный этап разработки находится в стадии формирования;
- наличие единого координационного органа развития и реализации ИТС в стране-члене союза, в данном аспекте ситуация остается прежней, в Российской Федерации, Республике Беларусь, Казахстане данные органы либо сформированы, либо находятся в стадии формирования. Необходимо отметить, что в Белоруссии существует координационный орган, полномочия которого ограничены только в части автомобильных дорог общего пользования, в России существует другая особенность, характеризующаяся тем, что существует несколько органов, которые могут и осуществляют политику в области ИТС, в то время как в Казахстане данный этап реализован на 100 %, так как там создан МИИР РК;
- организационная структура ИТС среди государств-членов ЕАЭС реализована только в Российской Федерации и Казахстане, в Республике Беларусь, данный этап находится в стадии разработки, при этом интеграция науки в ИТС реализована только в Российской Федерации;
- интеграция частного сектора имеет самую высокую степень реализации среди стран-членов союза, единственным государством, которое, на данный момент не реализовало этот этап является Кыргызская республика;
- стандартизация, аспект, который является ключевым, позволяющий выработать единый подход к данной сферы на уровне страны, реализован только в Российской Федерации и Республике Казахстан.

Такие аспекты как наличие рынка ИТС услуг и коммуникаций, экологическая безопасность, ИТС для нужд национальной безопасности, либо не реализованы, либо находятся в начальной стадии реализации.

Перечисленные выше особенности неравномерного развития и опыта внедрения ИТС способствуют формированию, а также корректировке общей тенденции развития и структуризации российской транспортной системы, в частности, сферы ИТС на территории Российской Федерации.

Анализ стратегии развития национальной транспортной системы России, показывает, что при реализации проекта национальной сети ИТС, которая будет представлять собой «территориально-распределенную систему, состоящую из взаимосвязанных элементов информационно-технологического, организационного, методологического, кадрового, нормативно-правового и нормативно-технического характера», подразумевается усиленное геоинформационное структурирование, однако, унификация потоков данных не является одним из направлений развития данной сети [13].

Несмотря на то, что данный подход при структуризации всей сети ИТС на территории РФ, является целостным и юридически подкрепленным, существует и другой подход, предложенный Государственной компанией «Автодор», предполагающий создание Федеральной системы управления ИТС, в которую будут включены системы регионального уровня, под-

системы муниципального уровня, сеть передачи данных, система сбора данных, а также система безопасности, в соответствии с ГОСТ Р 56294-2014 [14]. Федеральная система управления ИТС подразумевает как геоинформационное структурирование, так и унификацию данных, что делает данную систему более геоинформационно-ориентированной.

Результаты

Таким образом, мониторинг транспорта, в условиях как национальной сети ИТС, так и Федеральной системы управления ИТС, с учетом реализации в рамках улично-дорожной сети, по мнению исследователей [15] представляет собой не только перспективный инструмент для создания, адаптации или изменения транспортной инфраструктуры, но и являются связующим звеном между властью, ответственными службами уполномоченными осуществлять контрольно- надзорные действия в транспортной сфере (Государственная инспекция безопасности дорожного движения Министерства внутренних дел, Федеральная служба по надзору в сфере транспорта), населением и производственным комплексом. По мнению исследователей, от эффективности работы данных систем зависит большое количество процессов, к примеру, обеспечения ежедневной маятниковой миграции (работа – дом – работа, эффективная транспортировка пассажиров транспорта общего пользования, а также грузов, в границах агломерации) [16]. Кроме того, система, снабжающая точными данными мониторинга транспорта, как отдельно взятого города, так и агломерации или региона была бы полезна для всех гипотетически заинтересованных сторон и уполномоченных лиц. Помимо этого, с точки зрения бизнес-климата, применение унифицированного подхода позволит извлечь дополнительную пользу в виде повышение качества взаимодействия, как на уровне B2C, так и B2B, и B2G. Унифицированные параметры и структурированное взаимодействие в разрезе получаемых параметров, позволит проектировать, развивать и строить другие сферы в рамках агломерации более эффективно. На наш взгляд, структуризация и унификация данных в транспортной сфере должна затронуть и мониторинговую составляющую. Подобный подход к стратегии развития транспорта основывается на всестороннем анализе текущего состояния и проблем развития транспортной системы в тесной взаимосвязи с общими направлениями и масштабами социально-экономического развития страны, а также с глобальными стратегическими тенденциями в экономике.

Реализация комплексного доступа к точной, стандартизированной информации, как для власти, ответственных служб и инспекций, уполномоченных осуществлять контрольно-надзорные действия в транспортной сфере (Государственная инспекция безопасности дорожного движения Министерства внутренних дел, Федеральная служба по надзору в сфере транспорта), так и для населения и производственного комплекса один из ключевых столпов нынешней транспортной системы, который должен обеспечить равнонаправленное приложение усилий всех заинтересованных сторон при развитии транспортной сферы.

Примером реализации подобного отраслевого взаимодействия может выступать система контроля дорожных фондов (СКДФ), реализованная ФАУ «РОСДОРНИИ». Данное программное обеспечение в большей степени является структурированной базой данных, к которой имеют доступ все стороны, задействованные в дорожной деятельности. Во всех разделах данной системы существует разграничение полномочий и функционала, но при этом, в рамках дорожной отрасли данная система обеспечивает все стороны структурированной, унифицированной информацией [17].

Таким образом, задача внедрения единой ИС, позволяющей в режиме реального времени автоматизировано осуществлять мониторинг дорожного движения в городских агломерациях, с условием возможности координации взаимодействия, имеет высокую степень актуальности, что подтверждается необходимостью разработки концепции внедрения интеллектуальных транспортных систем в городских агломерациях [18].

При создании подобных информационных платформ, необходимо учитывать определенные критерии структурирования и наполнения данными, которые позволят пользователю иметь возможность получить максимально полную и структурированную информацию для принятия решений: состояние и загрузка улично-дорожной сети (в реальном времени),

актуальные данные о результатах постоянного мониторинга дорожного движения. Необходимо отметить, что данные, которые будут представлены пользователю должны быть унифицированы, а также иметь низкую погрешность, так как при осуществлении анализа основных параметров дорожного движения это играет важную роль. Интеграция с существующими ведомственными информационными системами, а также с системами «умный город», является одним из ключевых аспектов реализации системы ИТС агломерации. При этом, необходимо обеспечить либо полный, либо частичный доступ к данным системы для всех групп пользователей (частных лиц, бизнеса и государственных структур и т.д.) [19].

Проектирование, разработка информационных систем, как в транспортной сфере, так и в общем, требуют анализа внедрения реализованных технологий, подобный подход позволяет выявить те проблемы, которые могут возникнуть с наибольшей вероятностью. В области ИТС можно выделить следующие проблемы:

1) отсутствие единой платформы для сбора и обработки данных: в большинстве случаев данные о транспортном потоке собираются и обрабатываются разными системами, что создает проблемы при анализе этих данных. Одним из возможных решений может быть создание единой платформы для сбора, хранения и обработки данных;

2) недостаточное использование технологий для оптимизации работы транспорта общего пользования: многие города не используют современные технологии для оптимизации работы транспортного комплекса, например, для управления расписанием движения автобусов и трамваев. Одним из возможных решений может быть внедрение системы автоматического формирования и корректировки расписания транспорта общего пользования, которая определяет оптимальное количество транспорта на маршрутной сети, оптимальные временные промежутки для повышения заполняемости транспорта общего пользования и оптимального изменения маршрута для транспорта общественного пользования в случае возникновения непредвиденных дорожных ситуаций;

3) недостаточное использование систем контроля за скоростью и лицами управляющими транспортными средствами: многие города не используют такие системы, хотя они могут помочь повысить безопасность на дорогах и улучшить качество обслуживания пассажиров. Одним из возможных решений может быть внедрение системы контроля, которая производит мониторинг скорости и стиля вождения, а также накладывает на них штрафы, если это необходимо;

4) отсутствие инфраструктуры для электромобилей: многие города не располагают зарядными станциями для электромобилей, что затрудняет их использование. Одним из возможных решений может быть создание инфраструктуры зарядных станций по всему городу;

5) недостаточное использование технологий для управления парковками: многие города не используют современные технологии для управления парковками, что может привести к затруднениям при поиске парковочного места. Одним из возможных решений может быть создание системы автоматической парковки, которая помогает лицу, управляющему автотранспортом личного пользования быстро найти свободное место. В целом, для улучшения эффективности ИТС как инструмента, необходимо использовать современные технологии, такие как искусственный интеллект и машинное обучение, а также создавать единую платформу для сбора и обработки данных. Также важно учитывать специфику каждого города и разрабатывать авторские решения, которые будут эффективны в конкретных условиях.

Применение актуальных инструментов программирования в сфере транспорта, в частности мониторинга транспорта в условиях города (агломерации), с учетом применения нейронных сетей и модулей интеграции, которые позволят наладить взаимодействие на разных уровнях власти и разных сферах бизнеса, в том числе, подразумевает применение принципов «умного города». Применение подобных принципов при разработке ИТС города, позволит реализовать механизмы оперативного сбора, обработки и предоставления данных, как для органов государственной власти, так и других заинтересованных сторон. Получение актуальной и структурированной информации позволит принимать более эффективные,

своевременные и комплексные решения по эксплуатации объектов инфраструктуры города, а также развитию агломерации (города) [20].

Обсуждение

В контексте нынешнего этапа развития транспортной системы повышается актуальность применения инновационных инструментов программирования, при этом, уровень эффективности применения таких инструментов крайне высок при развитии транспортных систем городских агломераций. В контексте технического аспекта мониторинга дорожного движения необходимо обеспечить эффективную работу как с позиций структурирования и представления данных через интерфейс, так и защищенного и надежного соединения.

Необходимо отметить, что все составляющие подобной системы мониторинга дорожного движения, которые будут использованы при разработке системы мониторинга транспорта должны обеспечивать низкое время задержки или отклика на изменения дорожной обстановки, а также иметь высокую эффективность, которой было бы достаточно для обработки большого объема как визуальных данных (фото, видео) так и для потоковых внутри программных значений, что при условии штатной работы системы поможет обеспечить своевременную реакцию ответственных лиц на критические изменения в дорожном движении, а также состояние дорожной сети города. Эффективность принимаемых решений, в данном случае, определяется в оперативности принимаемых решений, на основе полученных данных при отслеживании как состояния транспортной системы в режиме реального времени. Возможно, единая информационная система мониторинга ДД и УДС, при применении интеллектуальный подхода, основывающегося на нейронной сети, с применением машинного обучения и других инструментов программирования позволит автоматически обнаружить уже произошедшее ДТП, используя как косвенные, так и прямые данные о состоянии транспортной системы.

Необходимо отметить, что существует множество модельных, аппаратно-программных решений в области ИТС. Некоторые из них:

1. Системы мониторинга и управления транспортным потоком: эти системы позволяют контролировать перемещение транспортных средств и определять транспортные заторы. На основе этой информации можно принимать управленческие решения, которые позволяют минимизировать нагрузку на дорожную сеть, уменьшить количество заторов и улучшить общую эффективность транспортного потока.

2. Системы определения местоположения транспортных средств: эти системы используют технологии GPS и ГЛОНАСС для определения точного местоположения транспортных средств. Это позволяет управлять транспортной системой более эффективно и контролировать работу транспортных средств.

3. Системы сбора платежей за проезд: эти системы используются для автоматического сбора платежей за проезд по трассам и дорогам. Они уменьшают время, затрачиваемое на сбор платежей и повышают безопасность дорожного движения.

4. Умные транспортные сети, системы предназначенные для оптимизации движения транспортных средств на дорогах. Они используют данные об объеме транспортного потока и информацию о дорожных условиях для оптимизации движения транспортных средств, что позволяет повысить эффективность транспортной системы в целом.

5. Системы обработки пассажирских данных: эти системы используются для сбора и обработки информации о пассажирах транспорта общего пользования. Это позволяет оптимизировать расписание движения транспорта и повысить удобство пользования транспортом общего пользования.

6. Системы автоматической парковки: эти системы используют технологии распознавания автомобильных номеров, чтобы определить, какие места на парковке свободны, а какие заняты. Затем они направляют поток транспортных средств на свободные места, что позволяет сократить время поиска парковочного места.

7. Системы контроля за скоростью и лицами управляющими транспортными средствами: эти системы используют технологии сбора данных, чтобы производить мониторинг

скорость и стиль вождения. Это помогает улучшить безопасность на дорогах и повысить качество обслуживания пассажиров.

Это только несколько примеров модельных, аппаратно-программных решений в области ИТС, которые сегодня применяются во всем мире. Они позволяют использовать новейшие технологии для улучшения безопасности, снижения затрат и повышения эффективности транспортной системы, однако, для повышения комплексности работы всех вышеуказанных систем необходима единая интеграционная платформа. Интеграционная платформа как инструмент осуществления управления транспортным комплексом позволит получать полные данные, что позитивно скажется на стратегическом развитии транспортной системы.

Предлагаемый нами подход, который базируется на основе интеграционной платформы, включает в себя составляющую потока данных, которые образуются в результате работы датчиков, детекторов и камер. На Рисунке 1 приведен пример распределения потоков данных, которые выводятся на единый интерфейс (интеграционную платформу) (рис. 1). Потоки данных, поступающие в подсистему профилирования, логически объединяются в источники данных.

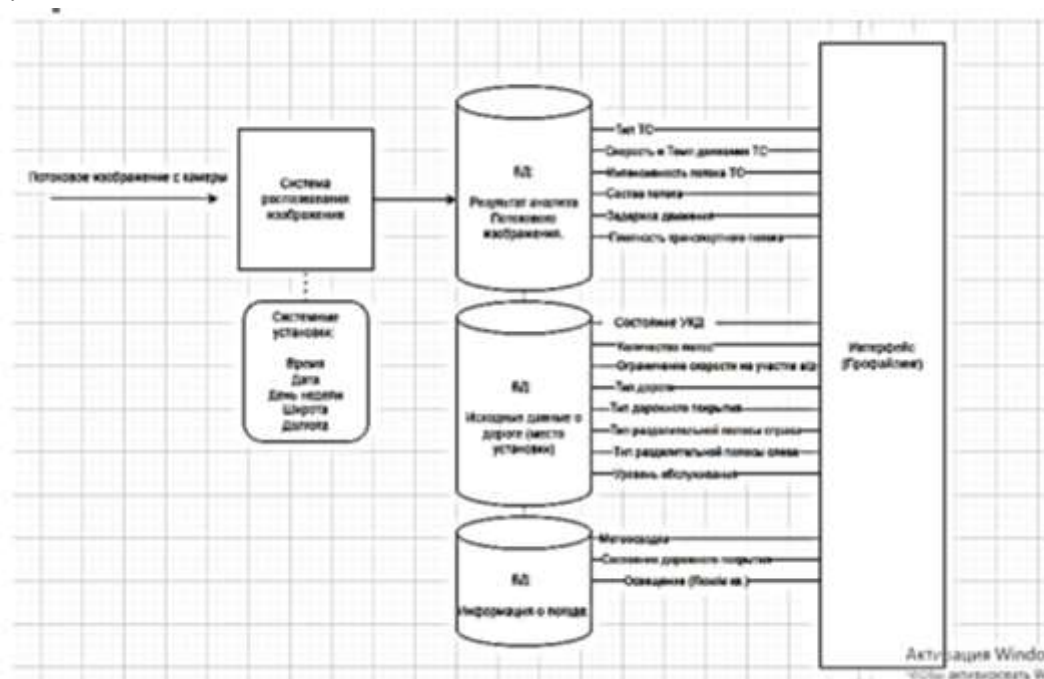


Рисунок 1 - Структура потоков данных: включает в себя этапы сбора, обработки и отображения данных

Выводы

Таким образом, представленные в работе результаты позволяют выявить и разрешить проблемы в рамках нормативно-правового регулирования транспортного комплекса России. При этом, в рамках исследования приведен анализ существующих стандартов в сфере ИТС, а также выявлены проблемы, в частности, среди прочих можно выделить проблему дублирования описания структуры ИТС. Кроме того, в данном исследовании приведен анализ результатов реализации политики в сфере ИТС среди государств-членов Евразийского Экономического Союза. Приведенная в исследовании структура данных позволяет наглядно определить необходимые потоки данных, которые могут быть направлены в интеграционную платформу, что позволит повысить эффективность применения ИТС. В данном контексте быстрое действие системы, обеспеченное высоким уровнем унификации данных и структурированностью потоков информации, позволяет принимать эффективные и своевременные решения, направленные на снижение времени одной поездки, снижение уровня аварийности, снижение нагрузки на дорожную сеть. [21]

Непрерывное совершенствование интеллектуальных транспортных систем и расширения списка реализуемых ими функций позволит свести риски, возникающие в процессе дорожного движения к минимуму. Возрастание количества автопарка, людей, постоянного

увеличения протяженности улично-дорожной сети, федеральных, региональных, межмуниципальных, местных дорог общего пользования, в условиях постоянно увеличивающегося количества данных, необходимо структурировать и анализировать большие объемы данных. Подобные обстоятельства подразумевают привлечение большого количества вычислительных мощностей, а также оборудования, которое позволит осуществлять мониторинг дорожного движения, с целью оценки существующих рисков. Использование современных инструментов больших данных и машинного обучения - это тот инструментарий, которым необходимо будет оперировать ближайший период на уровне всей транспортной сферы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зырянов В.В., Семчугова Е.Ю., Скрынник А.М. Применение информационных технологий при повышении мобильности и обеспечении транспортной безопасности [Электронный ресурс] / Инженерный вестник Дона. 2012. №4. Ч. 1. URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1083>. eISSN: 2073-8633.
2. Зырянов В.В., Семчугова Е.Ю., Литвина А.А. Повышение эффективности управления городским пассажирским транспортом Ростова-на-Дону // Вестник СГТУ. 2013.
3. Лазутин Ю.М., Чертов Г.А., Родиков А.В., Рогожкин В.А. Методология построения потоков данных в сложных аппаратно-программных комплексах [Электронный ресурс] / Программные продукты и системы. 2011. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodologiya-postroeniya-potokov-dannyh-v-slozhnyh-apparatno-programmnyh-kompleksah>.
4. Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации: Федеральный закон от 08 ноября 2007 г. № 257-ФЗ; Принят Государственной Думой 18 октября 2007 года; Одобрен Советом Федерации 26 октября 2007 года.
5. Об информации, информационных технологиях и о защите информации: Федеральный закон от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ; Принят Государственной Думой 8 июля 2006 года; Одобрен Советом Федерации 14 июля 2006 года.
6. ГОСТ Р 56829-2015. Интеллектуальные транспортные системы. Термины и определения. Москва: Стандартинформ, 2018. 14 с.
7. ГОСТ Р 56294-2014. Интеллектуальные транспортные системы. Требования к функциональной и физической архитектурам интеллектуальных транспортных систем. Москва: Стандартинформ, 2018. 12 с.
8. ГОСТ Р ИСО 14813-1-2011. Интеллектуальные транспортные системы. Схема построения архитектуры интеллектуальных транспортных систем. Москва: Стандартинформ, 2018. 31 с.
9. ГОСТ Р ИСО 17438-1-2017. Интеллектуальные транспортные системы. Навигация внутри помещений для персонала и транспортных средств с использованием ИТС станций. Москва: Стандартинформ, 2017. 28 с.
10. Проект государственного стандарта «интеллектуальные транспортные системы. информационная безопасность. надёжность обмена данными между инфраструктурой и автомобилем» [Электронный ресурс] / URL: <https://fgis.gost.ru/share/page/rsprs/nds-details?uuid=d8c5a593-1f5d-4880-af81-a0c63ea6b48c>.
11. О плане мероприятий («дорожной карте») по реализации Основных направлений и этапов реализации скоординированной (согласованной) транспортной политики государств - членов Евразийского экономического союза на 2021 - 2023 годы [Электронный ресурс]: Распоряжение Евразийского межправительственного совета от 20.08.2021 №15. П. 20. URL: <https://www.alt.ru/tamdoc/21mr0015/>.
12. Формирование правовых основ создания, развития и обеспечения функционирования национальных сетей интеллектуальных транспортных систем государств-членов Евразийского экономического союза [Электронный ресурс] // Аналитический доклад. Москва. 2022. С. 50-55. URL: <https://eec.eaeunion.org/upload/medialibrary/87d/Pril>.
13. Об утверждении Концепции создания и функционирования национальной сети интеллектуальных транспортных систем на автомобильных дорогах общего пользования [Электронный ресурс]: Распоряжение Минтранса России от 30.09.2022 №АК-247-р. Глава 1. П. 11. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_428156/444f9a930671c2c83c3249af5fd782dcc207e7e3/.
14. Интеллектуальные транспортные системы. Требования к функциональной и физической архитектурам интеллектуальных транспортных систем // Intelligent transport systems. Requirements for functional and physical architectures of intelligent transport systems: национальный стандарт Российской Федерации. Издание официальное: Утвержден и введен в действие приказом федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 11 декабря 2014 г. n 1966-ст. Москва: Стандартинформ, 2018. 12 с.
15. Петрова Дарья Владимировна Современные подходы к организации мониторинга пассажиропотоков общественного транспорта городских агломераций [Электронный ресурс] / International Journal of Open Information Technologies. 2020. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-podhody-k-organizatsii-monitoringa-passazhiropotokov-obshchestvennogo-transporta-gorodskih-aglomeratsiy>.
16. Бедрина Е.Б., Козлова О.А., Ишуков А.А. Методические вопросы оценки маятниковой миграции населения [Электронный ресурс] / Ars Administrandi. 2018. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodicheskie-voprosy-otsenki-mayatnikovoy-migratsii-naseleniya>.

17. Официальный интернет-ресурс ФАУ «РОСДОРНИИ». Система контроля за формированием и использованием средств дорожных фондов (СКДФ) [Электронный ресурс]. URL: <https://rosdornii.ru/proekty/skdf/>.
18. Федеральное дорожное агентство «Росавтодор». Концепция внедрения интеллектуальных транспортных систем в городских агломерациях [Электронный ресурс]. URL: <https://rosavtodor.gov.ru/storage/app/uploads/public/5e01e97085e01e9708cf8e517182017>.
19. Жанказиев С.В., Вражнова 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. №1-1(80). 2023. С. 43-49.
20. Капский Д.В., Леванович Д.В., Иванов В.П., Головнич А.К. Анализ детектирования параметров дорожного движения [Электронный ресурс] / Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. 2022. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-detektirovaniya-parametrov-dorozhnogo-dvizheniy>.
21. Федеральное дорожное агентство «Росавтодор». Концепция внедрения интеллектуальных транспортных систем в городских агломерациях [Электронный ресурс]. URL: <https://rosavtodor.gov.ru/storage/app/uploads/public/5e01e97085e01e9708cf8e517182017>.

Пилипец Олег Олегович

Донской государственный технический университет

Адрес: 344001, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

Аспирант

E-mail: pilipets.oleg@gmail.com

O.O. PILIPETS

ANALYSIS OF THE USE OF INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS IN MODERN CONDITIONS: STAGES OF IMPLEMENTATION AND PROBLEMATIC ISSUES

Abstract. This article outlines the main features of the development of intelligent transportation systems (hereinafter ITS), as well as the basic regulatory and legal acts in the field of ITS. The main purpose of this article is to conduct an analysis in the context of ITS development and further application in the transport complex of Russia, the study identifies the key existing approaches in the field of ITS structuring, which are the key indicators (criteria) of qualitative and effective development of all spheres of the economy, both at the level of the Russian Federation and the Eurasian Economic Union. The methodological basis of this study is analysis, inductive analysis, and synthesis.

Keywords: Intelligent Transport Systems, ITS standardization, regulatory and legal regulation, street and road network, neural networks, traffic monitoring, federal ITS network, EAEU, Road activity, Transport complex

BIBLIOGRAPHY

1. Zyryanov V.V., Semchugova E.YU., Skrynnik A.M. Primenenie informatsionnykh tekhnologiy pri povyshenii mobil'nosti i obespechenii transportnoy bezopasnosti [Elektronnyy resurs] / Inzhenernyy vestnik Dona. 2012. №4. CH. 1. URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1083>. eISSN: 2073-8633.
2. Zyryanov V.V., Semchugova E.YU., Litvina A.A. Povysheenie effektivnosti upravleniya gorodskim passazhirskim transportom Rostova-na-Donu // Vestnik SGTU. 2013.
3. Lazutin YU.M., Chertov G.A., Rodikov A.V., Rogozhkin V.A. Metodologiya postroeniya potokov dannykh v slozhnykh apparatno-programmnykh kompleksakh [Elektronnyy resurs] / Programmnye produkty i sistemy. 2011. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodologiya-postroeniya-potokov-dannykh-v-slozhnykh-apparatno-programmnykh-kompleksakh>.
4. Ob avtomobil'nykh dorogakh i o dorozhnoy deyatelnosti v Rossiyskoy Federatsii: Federal'nyy zakon ot 08 noyabrya 2007 g. № 257-FZ; Prinyat Gosudarstvennoy Dumoy 18 oktyabrya 2007 goda; Odobren Sovetom Federatsii 26 oktyabrya 2007 goda.
5. Ob informatsii, informatsionnykh tekhnologiyakh i o zashchite informatsii: Federal'nyy zakon ot 27 iyulya 2006 g. № 149-FZ; Prinyat Gosudarstvennoy Dumoy 8 iyulya 2006 goda; Odobren Sovetom Federatsii 14 iyulya 2006 goda.
6. GOST R 56829-2015. Intellektual'nye transportnye sistemy. Terminy i opredeleniya. Moskva: Standartinform, 2018. 14 s.
7. GOST R 56294-2014. Intellektual'nye transportnye sistemy. Trebovaniya k funktsional'noy i fizicheskoy arkhitekturam intellektual'nykh transportnykh sistem. Moskva: Standartinform, 2018. 12 s.

8. GOST R ISO 14813-1-2011. Intellektual'nye transportnye sistemy. Skhema postroeniya arkhitektury intellektual'nykh transportnykh sistem. Moskva: Standartinform, 2018. 31 s.
9. GOST R ISO 17438-1-2017. Intellektual'nye transportnye sistemy. Navigatsiya vnutri pomeshcheniy dlya personala i transportnykh sredstv s ispol'zovaniem ITS stantsiy. Moskva: Standartinform, 2017. 28 s.
10. Proekt gosudarstvennogo standarta «intellektual'nye transportnye sistemy. informatsionnaya bezopasnost'. nadiozhnost' obmena dannymi mezhdu infrastrukturoy i avtomobilem» [Elektronnyy resurs] / URL: <https://fgis.gost.ru/share/page/rsprs/nds-details?uuid=d8c5a593-1f5d-4880-af81-a0c63ea6b48c>.
11. O plane meropriyatiy ("dorozhnoy karte") po realizatsii Osnovnykh napravleniy i etapov realizatsii skoordinirovannoy (soglasovannoy) transportnoy politiki gosudarstv - chlenov Evraziyskogo ekonomicheskogo soyuza na 2021 - 2023 gody [Elektronnyy resurs]: Rasporyazhenie Evraziyskogo mezhpriatel'stvennogo soveta ot 20.08.2021 №15. P. 20. URL: <https://www.alt.ru/tamdoc/21mr0015/>.
12. Formirovanie pravovykh osnov sozdaniya, razvitiya i obespecheniya funktsionirovaniya natsional'nykh setey intellektual'nykh transportnykh sistem gosudarstvchlenov Evraziyskogo ekonomicheskogo soyuza [Elektronnyy resurs] // Analiticheskiy doklad. Moskva. 2022. S. 50-55. URL: <https://eec.eaeunion.org/upload/medialibrary/87d/Pril>.
13. Ob utverzhdenii Kontseptsii sozdaniya i funktsionirovaniya natsional'noy seti intellektual'nykh transportnykh sistem na avtomobil'nykh dorogakh obshchego pol'zovaniya [Elektronnyy resurs]: Rasporyazhenie Ministra Rossii ot 30.09.2022 №AK-247-r. Glava 1. P. 11. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_428156/444f9a930671c2c83c3249af5fd782dcc207e7e3/.
14. Intellektual'nye transportnye sistemy. Trebovaniya k funktsional'noy i fizicheskoy arkhitekturam intellektual'nykh transportnykh sistem // Intelligent transport systems. Requirements for functional and physical architectures of intelligent transport systems: natsional'nyy standart Rossiyskoy Federatsii. Izdanie ofitsial'noe: Utverzhden i vveden v deystvie prikazom federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 11 dekabrya 2014 g. n 1966-st. Moskva: Standartinform, 2018. 12 s.
15. Petrova Dar'ya Vladimirovna Sovremennye podkhody k organizatsii monitoringa passazhiropotokov obshchestvennogo transporta gorodskikh aglomeratsiy [Elektronnyy resurs] / International Journal of Open Information Technologies. 2020. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-podhody-k-organizatsii-monitoringa-passazhiropotokov-obshchestvennogo-transporta-gorodskikh-aglomeratsiy>.
16. Bedrina E.B., Kozlova O.A., Ishukov A.A. Metodicheskie voprosy otsenki mayatnikovoy migratsii naseleniya [Elektronnyy resurs] / Ars Administrandi. 2018. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodicheskie-voprosy-otsenki-mayatnikovoy-migratsii-naseleniya>.
17. Ofitsial'nyy internet-resurs FAU «ROSDORNII». Sistema kontrolya za formirovaniem i ispol'zovaniem sredstv dorozhnykh fondov (SKDF) [Elektronnyy resurs]. URL: <https://rosdornii.ru/proekty/skdf/>.
18. Federal'noe dorozhnoe agentstvo «Rosavtodor». Kontseptsiya vnedreniya intellektual'nykh transportnykh sistem v gorodskikh aglomeratsiyakh [Elektronnyy resurs]. URL: <https://rosavtodor.gov.ru/storage/app/uploads/public/5e0/1e9/708/5e01e9708cf8e517182017>.
19. ZHankaziev S.V., Vrazhnova M.N., Pashkova A.A. Kontseptsiya metodiki povysheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya za schet predostavleniya bezopasnogo marshruta pol'zovatelyam sredstv individual'noy mobil'nosti // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. №1-1(80). 2023. S. 43-49.
20. Kapskiy D.V., Levanovich D.V., Ivanov V.P., Golovnich A.K. Analiz detektirovaniya parametrov dorozhnogo dvizheniya [Elektronnyy resurs] / Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya B. Pro-myshlennost'. Prikladnye nauki. 2022. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-detektirovaniya-parametrov-dorozhnogo-dvizheniya>.
21. Federal'noe dorozhnoe agentstvo «Rosavtodor». Kontseptsiya vnedreniya intellektual'nykh transportnykh sistem v gorodskikh aglomeratsiyakh [Elektronnyy resurs]. URL: <https://rosavtodor.gov.ru/storage/app/uploads/public/5e0/1e9/708/5e01e9708cf8e517182017>.

Pilipets Oleg Olegovich

Don State Technical University

Adress: 344001, Russia, Rostov-on-Don, Gagarin square, 1

Postgraduate student

E-mail: pilipec.oleg@gmail.com

Научная статья

УДК 656:711

doi:10.33979/2073-7432-2024-3-1(86)-101-107

Д.В. КАПСКИЙ, С.А. ЛЯПИН, С.В. БОГДАНОВИЧ

ВЛИЯНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ И СМЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА СОЦИОПРИРОДОЭКОНОМИЧЕСКУЮ СРЕДУ ГОРОДА

Аннотация. В статье рассматривается влияние беспилотных транспортных средств и сопутствующих технологий (электромобилей, систем совместного использования транспорта, подключенных автомобилей и «умной» дорожной инфраструктуры) на социоприродоэкономическую систему при проектировании и планировании городской среды. Авторы анализируют ключевые технологические тренды в сфере городской мобильности, такие как автоматизация, совместное использование транспорта, электрификация и подключенность транспортных средств.

Авторы приходят к выводу, что технологический сдвиг в городской мобильности открывает новые возможности для устойчивого развития социоприродоэкономической системы городов, но требует объединения передовых инноваций с принципами "нового урбанизма" и согласованного планирования с приоритетом пешеходной доступности в градостроительной политике.

Ключевые слова: беспилотные транспортные средства, урбанизм, городское планирование, мобильность, электромобили, совместное использование транспорта, подключенные автомобили, умная инфраструктура, устойчивое развитие

Введение

Технологический прогресс всегда был ключевым фактором, определяющим развитие городов и трансформацию городских пространств. На протяжении XX века автомобили с двигателями внутреннего сгорания коренным образом изменили облик городов, приведя к формированию автомобилецентричной урбанистической модели с акцентом на строительство широких дорог и автомагистралей. Однако в последние десятилетия осознание негативных последствий такого подхода, включая загрязнение, заторы и неэффективное использование городских территорий, привело к попыткам пересмотра этой парадигмы в пользу более гуманистических и экологических концепций городского планирования.

Сегодня мы находимся на пороге нового технологического сдвига, способного радикально изменить городскую мобильность и дизайн городов. Речь идет о стремительном развитии беспилотных (высокоавтоматизированных) транспортных средств и связанных с ними технологий - электромобилей, систем совместного использования транспорта, подключенных автомобилей и «умной» дорожной инфраструктуры. Эти инновации несут в себе огромный потенциал для решения многих проблем современных городов, включая загрязнение, заторы, аварии и неэффективное использование городских пространств.

В то же время, внедрение беспилотных технологий порождает новые проблемы и угрозы, требующие тщательного анализа и продуманного подхода со стороны градостроителей и проектировщиков городской среды. Ключевые вопросы включают адаптацию инфраструктуры, оптимизацию землепользования, обеспечение мультимодальности транспортных систем и сохранение баланса между автомобильной и немоторизованной мобильностью.

В данной статье мы рассмотрим основные тенденции развития беспилотных и сопутствующих технологий в сфере городской мобильности, а также проанализируем их потенциальное влияние на социоприродоэкономическую систему города, городской дизайн и землепользование в краткосрочной и долгосрочной перспективе.

Материал и методы

Технологии всегда накладывали значительный отпечаток на развитие городов. Уже сейчас социальные и экономические аспекты, влияющие на развитие беспилотных транспортных средств, активно изучаются в мире (например, посредством тестирования беспилотных транспортных средств в различных городах, на различных площадках и т.п.). Преимущества, обеспечиваемые беспилотными транспортными средствами, могут спровоцировать разрастание городов (в пределах одного часа на поездку). Проектировщики должны быть готовыми прогнозировать эти аспекты и осознавать, что беспилотные автомобили также провоцируют рост спроса на передвижения, также увеличивают вероятность разрастания городов и других негативных последствий, вредных для социоприродоэкономической системы городов, как и классические автомобили. Вместе с тем уже сейчас очевидно, что в ближайшем будущем проектировщикам придется «перепроектировать» города, адаптируя их для беспилотных транспортных средств. Беспилотный автомобиль должен сделать путешествия проще и безопаснее при наличии соответствующей инфраструктуры и сопровождения (обеспечения). Вместе с тем для этого должна быть спроектирована соответствующая среда, чтобы беспилотные автомобили, являясь неотъемлемой частью транспортных систем будущего, не породили еще бóльшую «транспортную» зависимость и, как следствие, повторение старых ошибок. Надо понимать, что беспилотные автомобили не будут наиболее подходящим, универсальным видом передвижения для каждого района города, не будут способствовать снижению нагрузки на внешнюю и окружающую среды каждой его части.

Как мы знаем, развитие традиционных автомобилей было также связано с широкими перспективами использования, обширными преимуществами, которые личные автомобили должны были принести обществу и это повлияло на проектные решения, поскольку позитивные ожидания побудили проектировщиков формировать города для автомобилей, а не для пешеходов, велосипедистов и пр. Вместе с тем знания по проектированию и планированию городов начинаются не с иллюзорного их восприятия, а с наработок, созданных под давлением традиционных автомобилей (на рисунке 1 видно, что создан «асфальтовый» город, вместо города, «удобного для жизни»).

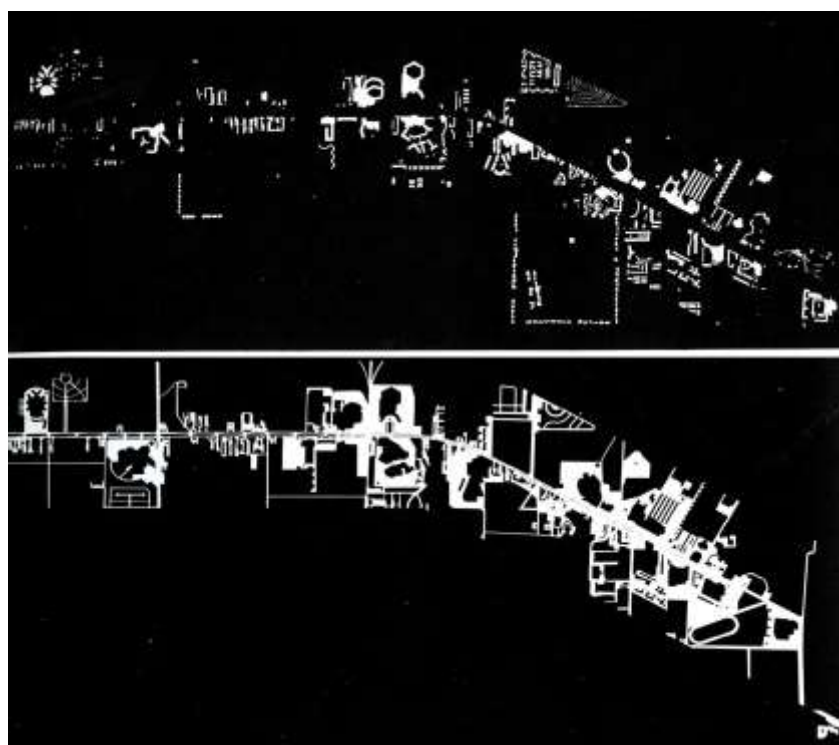


Рисунок 1 – Фотография одной мили улицы в Лас-Вегасе. Площадь зданий показана на рисунке выше, а площадь асфальта – показана ниже. Источник: [1, рис. 19b, 19d]

Можно спланировать более здоровые, зеленые, устойчивые, безопасные и справедливые социоприродоэкономические транспортные системы с беспилотными автомобилями, и именно они могут стать мощным инструментом для достижения цели устойчивого развития.

Вера в возможность «преобразить» города с целью обеспечения более удобных автомобильных перевозок привела к развитию городов, с низкой плотностью застройки, ориентированных на эффективность эксплуатации автомобилей. В начале 1960-х годов, некоторые известные урбанисты, включая Джейн Джейкобс, Льюис Мамфорд и Кристофер Александер, начали сомневаться в концепции города, основанного на имеющейся дорожной инфраструктуре. Когда стали очевидны негативные последствия такого планирования, они признали, что простое внедрение новых технологий не способно улучшить существующую ситуацию. Это привело к угасанию энтузиазма в насыщении городов частными автомобилями [2].

В моделях городского планирования начали использовать социоприродоэкономические подходы, позволяющие совместить научно-техническую и хозяйственную деятельности человека с процессами, протекающими в биосфере сосредотачиваясь на людях и среде их обитания, а не на технологиях. Этому в значительной степени способствовало развитие концепции Нового урбанизма, которая выдвигает идеи увеличения плотности городской среды и согласованного планирования. Началась эпоха угасания интереса к личному автомобилю.

Но автомобилизация все равно продолжает сказываться на городских ландшафтах. В настоящее время мы тесно связаны с концепцией «автомобильной мобильности», введенной в 1990-х годах Джоном Урри [3] в социальных науках. В основе теории «автомобильной мобильности» лежит модель, ставящая в зависимость темпы развития городской среды и социума от автомобилизации. Из-за медленного темпа изменений в городской среде и инфраструктуре сложно избавиться от «запирающего эффекта автомобиля» без «поворотных моментов», которые могут предоставить новые возможности для развития городов.

Теория / Расчет

В настоящее время технологическое развитие в области беспилотных автомобилей кажется перспективным: их уже можно видеть на дорогах Европы [4], Сингапура [5] и в некоторых городах США [6]. Китай планирует достичь полной автономности для 10 % всех транспортных средств к 2030 году [7]. Однако, вряд ли даже полная автоматизация определенного процента транспортных средств, способна быстро коренным образом изменить транспортную систему города [8]. Некоторые исследователи утверждают, что для реализации преимуществ автоматизированных транспортных средств потребуется еще несколько десятилетий [9].

Многие факторы, помимо состояния технологии, такие как социально-экономические условия, городской дизайн и окружающая среда, влияют на внедрение технологии в общество. Пока еще рано говорить о том, будет ли развиваться технология беспилотных транспортных средств настолько же широко, как личный автомобиль. Считается, что технологический прогресс в сфере транспорта может изменить существующую систему автомобильного транспорта и создать новые, более удобные и устойчивые модели мобильности [23]. Но уже очевидно, что городской дизайн очень зависит от технологического сдвига, который наметился в городском транспорте. По сути, сейчас начинается период, когда «города строят вокруг технологий» [10].

Можно обозначить пять инноваций, способствующих технологическому сдвигу: автоматизация / Биг Дата / Интернет вещей (IoT) и облачные вычисления / технологии (и виртуальные); совместное использование; электрификация; датчики и подключение; индивидуальные транспортные средства.

Конечно, беспилотный (автоматизированный) автомобиль (AV) является центральным элементом технологического сдвига. К этому списку Урри [3] добавляет новые топливные системы, электромобили, новые материалы для изготовления кузовов автомобилей, технологию смарт-карт, стремление к политике «нового реализма», средства связи и подключение к Интернету. Из этих технологий многие ученые [12] определяют совместное использование транс-

портных средств как наиболее важный технологический и бизнес-стимулятор, который может радикально изменить сложившуюся практику использования личного автомобиля.

Надо сказать, что автоматизация транспортных средств, по классификации автоматизированных транспортных средств, данной SAE (Обществом инженеров автомобильной промышленности) в 2016 году, еще не полная. Сегодня на дорогах встречаются автомобили, которые оснащены автоматизацией 3-го уровня. Однако реальные преимущества автоматизации могут быть достигнуты только после полного внедрения автоматизации уровня 4 или 5 (полная автоматизация), которая не требует участия водителя [15].

Следует заметить, что технология автоматизации транспортных средств, возможно, стояла на месте десятилетиями из-за «проблемы да Винчи» [16], которая возникает, когда замысел изобретателя не может быть реализован не из-за проблем с концепцией, а из-за того, что другие технологии, поддерживающие изобретение, еще не появились на свет. Последние технологические разработки в сфере AV-транспорта могут преодолеть «проблему да Винчи». Недавние разработки в области Интернета вещей, сенсорных технологий, технологии Lidar сделали будущее без водителя ближе, чем когда-либо прежде.

Термин «Sharing» или «совместное использование» транспортных средств означает, что транспортное средство любого типа, не находящееся в частной собственности, является частью общего автопарка и используется разными пользователями. В этом смысле автобус – это такая же модель совместного использования, как и аренда автомобиля. Совместное использование, как и автоматизация транспортных средств, не является новой концепцией. Примером может служить эксплуатация интегрированной системы МПТ с гибкими маршрутами по требованию (создание гибких транспортных систем) [17, 18]

Развитие информационно-коммуникационных технологий привело к появлению компаний, таких как Uber и Яндекс, которые занимаются управлением на транспортных сетях. Благодаря онлайн-платформам, эти компании эффективно управляют совместными поездками, сопоставляя спрос в реальном времени с динамическими стратегиями использования автопарка. Это позволило повысить эффективность использования автомобилей, транспортной инфраструктуры, снизить стоимость поездок, уменьшить вредное воздействие на окружающую среду [19].

Результаты и обсуждение

Таким образом, указанные выше эффекты легли в основу концепции «Мобильность по требованию» или «Мобильность как услуга» (или «Транспортные средства как сервис») (Mobility as a Service – MaaS. MaaS обычно принимает формы совместного использования автомобилей (краткосрочная аренда автомобилей), совместного использования автомобилей/фургонов, служб поиска поездок (Uber и др.) и услуг электронной связи (которые позволяют использовать приложение для смартфона, чтобы вызвать такси по требованию в электронном виде) [20].

Своего рода это – концепция отказа от личного транспорта в пользу общественного, проката и шеринга. Сегодня та или иная форма MaaS доступна в большинстве городов мира,

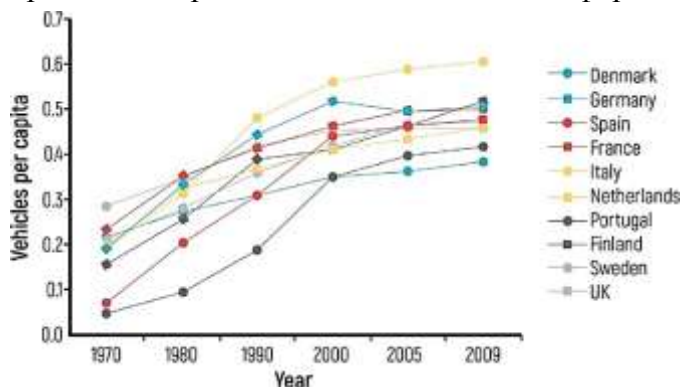


Рисунок 2 - Международные показатели владения транспортными средствами [21]

снижая владение транспортными средствами, высвобождая улицы от ненужных автомобилей для размещения на этих площадях кафе, мест развития креативной экономикой, общественных пространств и многого другого, делающего города более привлекательным для жителей и туристов. По мере роста доли рынка MaaS-платформ мы наблюдаем снижение уровня владения частными автомобилями. Рисунок 2 показывает, что темпы роста числа владельцев транспортных средств начали снижаться после

1990 года в большинстве богатых европейских стран. Нынешние 18-24-летние люди, как правило, владеют меньшим количеством автомобилей и меньше ездят, чем предыдущие поколения [21], поскольку каршеринг освобождает их от бремени обслуживания автомобилей, страхования и других расходов.

Выводы

Точно так же, как MaaS и гибкий одноранговый каршеринг были бы немыслимы без надежно работающего подключения к Интернету, без MaaS невозможно воспользоваться всеми преимуществами автоматизации. Полностью автоматизированные транспортные средства общего пользования (SAV) – по сути являются новыми моделями транспортных средств, решающими организационные и технологические проблемы совместного использования транспорта. SAV снижают затраты на рабочую силу, повышают комфорт, безопасность и качество, улучшают доступность и распределение транспорта. Они меняют правила игры в отрасли, гарантируя гибкость в их использовании при одновременном сокращении выбросов углекислого газа и экономическую эффективность. Вместе с электрификацией SAV можно рассматривать как социоприродоориентированную альтернативу личному автомобилю.

Переход к новой парадигме городской мобильности с высоким уровнем автоматизации и электрификации транспорта открывает перед современными мегаполисами беспрецедентные возможности для устойчивого развития, улучшения экологической ситуации и повышения качества городской среды в целом [24]. Однако их успешная реализация невозможна без тесной интеграции передовых технологических инноваций с принципами «нового урбанизма», делающими приоритетом развитие пешеходного и общественного транспорта и формирование компактной, социоприродоориентированной городской среды. Только объединив усилия ученых, инженеров и градостроителей, можно максимально реализовать колоссальный потенциал грядущих транспортных преобразований на благо современных и будущих поколений горожан.

При планировании городского развития необходимо учитывать цели устойчивого развития, а не только внедрять новые технологии. Основное внимание следует уделить доступности, безопасности и экологичности транспортной системы для всех жителей. Приоритет должен быть отдан общественному транспорту, пешеходам и велосипедистам. Беспилотные транспортные средства должны дополнять, а не заменять эти виды передвижения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Robert Venturi, Denise Scott Brown, Steven Izenour *LEARNING FROM LAS VEGAS*. Revised Edition [Электронный ресурс]. URL: https://monoskop.org/images/archive/c/cd/20170506121429%21Venturi_Brown_Izenour
2. Cannon R.H. Transportation, automation, and societal structure // *Proceedings of the IEEE* 61. 1973. 518–525.
3. Urry J. The System of Automobility // *Theory, Culture & Society* 21. 2004. 25–39.
4. Alessandrini Adriano, Alfonsi Raffaele, Site Paolo Delle, Stam Daniele. Users' Preferences towards Automated Road Public Transport: Results from European Surveys // *Transportation Research Procedia*. 3. 139–144.
5. Toh T.W. Singapore stands out in terms of strategy for autonomous vehicles: Volvo executive [Электронный ресурс]. URL: <https://www.straitstimes.com/singapore/transport/singapore-stands-out-in-terms-of-strategy-for-autonomous-vehicles-volvo/>
6. Coren M.J. Where self-driving cars are being tested around the world [Электронный ресурс]. 2018. URL: <https://qz.com/1488576/self-driving-car-tests-around-the-world/>
7. Levelling Up. China's race to an autonomous future [Электронный ресурс]. URL: <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/cn/pdf/en/2022/06/special-report-on-autonomous-driving.pdf/>
8. Heinrichs D. Autonomous Driving and Urban Land Use // *Autonomous Driving*. 2016. 213–231. doi:10.1007/978-3-662-48847-8_11.
9. Cools M., Rongy C., Limbourg S. Can Autonomous Vehicles Reduce Car Mobility? Evidence from a Stated Adaptation Experiment in Belgium // Presented at the Transportation Research Board Annual Meeting. 2017.
10. Tanvi Maheshwari. An urban design response to the technological shift in transportation [Электронный ресурс] / A thesis submitted to attain the degree of doctor of sciences of ETH Zurich. 2020. 285 p. URL: https://www.researchcollection.ethz.ch/bitstream/handle/20.500.11850/448978/1/20201019_ThesisPackage_SecureOnlineVersion.pdf/
11. Dia Hussein, Javanshour Farid. Autonomous Shared Mobility-On-Demand: Melbourne Pilot Simulation Study // *Transportation Research Procedia*. 22, 2017. 285–296. doi:10.1016/j.trpro.2017.03.035.
12. Burns L.D., Jordan W.C., Scarborough B.A. Transforming Personal Mobility [Электронный ресурс] / The Earth Institute, Columbia University, The Earth Institute, New York. 2012. URL: <http://wordpress.ei.columbia.edu/mobility/files/2012/12/Transforming-Personal-Mobility-Aug-10-2012.pdf/>
13. Greenblatt Jeffery B., Shaheen Susan. Automated Vehicles // *On-Demand Mobility, and Environmental Impacts*. Current Sustainable/Renewable Energy Reports. 2(3). 2015. 74–81. doi:10.1007/s40518-015-0038-5
14. Sperling D. Three Revolutions: Steering Automated, Shared, and Electric Vehicles to a Better [Электронный ресурс]. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=OjgeTEoQFhc/>

15. Kyriakidis M., de Winter J. C. F., Stanton N., Bellet T., van Arem B., Brookhuis K., Martens M.H., Bengler K., Andersson J., Merat N., Reed N., Flament M., Hagenzieker M., Happee R. A human factors perspective on automated driving // Theoretical Issues in Ergonomics Science. 2017. 1-27. doi:10.1080/1463922X.2017.1293187.
16. Lipson H., Kurman M. Driverless: Intelligent Cars and the Road Ahead, First edition. ed. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts. 2016. 328 p.
17. Carlos F. Daganzo An approximate analytic model of many-to-many demand responsive transportation systems. 12(5). 1978. 325-333. doi:10.1016/0041-1647(78)90007-2
18. Wilson Nigel H.M., Hendrickson Chris Performance models of flexibly routed transportation services. 14(1). 1980. 67-78. doi:10.1016/0191-2615(80)90033-8
19. Shen Yu, Zhang Hongmou, Zhao Jinhua. Integrating shared autonomous vehicle in public transportation system: A supply-side simulation of the first-mile service in Singapore // Transportation Research Part A: Policy and Practice. 113. 2018. 125-136. doi:10.1016/j.tra.2018.04.004.
20. Greenblatt Jeffery B., Shaheen Susan. Automated Vehicles, On-Demand Mobility, and Environmental Impacts // Current Sustainable Renewable Energy Reports. 2(3). 2015. 74-81. doi:10.1007/s40518-015-0038-5.
21. Litman T. The future isn't what it used to be. Victoria Transport Policy Institute [Электронный ресурс]. 2015. URL: <https://www.vtpi.org/future.pdf/>.
22. Wadud Zia, MacKenzie Don, Leiby Paul. Help or hindrance? The travel, energy and carbon impacts of highly automated vehicles // Transportation Research Part A: Policy and Practice. 86. 2016. 1-18. doi:10.1016/j.tra.2015.12.001.
23. Ляпин С.А., Капский Д.В., Ризаева Ю.Н., Кадасев Д.А. Подключенные автомобили в интеллектуальных транспортных системах умных городов // Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте: сборник статей МНПК. Липецк: Липецкий государственный технический университет. 2022. С. 7-14.
24. Корчагин В.А., Ляпин С.А., Карташова А.К., Намаконов Б.В. Устойчивое развитие общества и экономики на основе саморазвивающихся социоприродоэкономических систем // Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса: материалы III Международной научно-практической конференции в рамках третьего Международного научного форума Донецкой Народной Республики «Инновационные перспективы Донбасса: Инфраструктурное и социально-экономическое развитие». Донецк: Донецкий национальный технический университет. 2017. С. 258-261.

Капский Денис Васильевич

Белорусский национальный технический университет

Адрес: 220013, Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости, 65

Д.т.н., доцент, профессор кафедры «Транспортные системы и технологии»

E-mail: d.kapsky@gmail.com

Ляпин Сергей Александрович

Липецкий государственный технический университет

398055, Россия, г. Липецк, ул. Московская, д.30

Д.т.н., профессор кафедры «Управление автотранспортом»

E-mail: lyapinserg2012@yandex.ru

Богданович Сергей Валерьевич

Белорусский национальный технический университет

Адрес: 220013, Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости, 65

К.т.н., доцент, доцент кафедры «Транспортные системы и технологии»

E-mail: bsw001@gmail.com

D.V. KAPSKI, S.A. LYAPIN, S.V. BOGDANOVICH

THE IMPACT OF DRIVERLESS VEHICLES AND RELATED TECHNOLOGIES ON THE SOCIO-NATURAL AND ECONOMIC ENVIRONMENT OF THE CITY

Abstract. *The article examines the impact of unmanned vehicles and related technologies (electric vehicles, transport sharing systems, connected cars and "smart" road infrastructure) on the socio-economic system in the design and planning of the urban environment. The authors analyze key technological trends in the field of urban mobility, such as automation, transport sharing, electrification and connectivity of vehicles.*

The authors conclude that the technological shift in urban mobility opens up new opportunities for the sustainable development of the socio-economic system of cities, but requires combining advanced innovations with the principles of «new urbanism» and coordinated planning with the priority of pedestrian accessibility in urban planning policy.

Keywords: *autonomous vehicles, urbanism, urban planning, mobility, electric vehicles, shared mobility, connected cars, smart infrastructure, sustainable development*

BIBLIOGRAPHY

1. Robert Venturi, Denise Scott Brown, Steven Izenour LEARNING FROM LAS VEGAS. Revised Edition

- [Elektronnyy resurs]. URL: https://monoskop.org/images/archive/c/cd/20170506121429%21Venturi_Brown_Izenour
2. Cannon R.H. Transportation, automation, and societal structure // *Proceedings of the IEEE* 61. 1973. 518-525.
 3. Urry J. The System of Automobility // *Theory, Culture & Society* 21. 2004. 25-39.
 4. Alessandrini Adriano, Alfonsi Raffaele, Site Paolo Delle, Stam Daniele. Users' Preferences towards Automated Road Public Transport: Results from European Surveys // *Transportation Research Procedia*. 3. 139-144.
 5. Toh T.W. Singapore stands out in terms of strategy for autonomous vehicles: Volvo executive [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.straitstimes.com/singapore/transport/singapore-stands-out-in-terms-of-strategy-for-autonomous-vehicles-volvo/>
 6. Coren M.J. Where self-driving cars are being tested around the world [Elektronnyy resurs]. 2018. URL: <https://qz.com/1488576/self-driving-car-tests-around-the-world/>
 7. Levelling Up. China's race to an autonomous future [Elektronnyy resurs]. URL: <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/cn/pdf/en/2022/06/special-report-on-autonomous-driving.pdf/>
 8. Heinrichs D. Autonomous Driving and Urban Land Use // *Autonomous Driving*. 2016. 213-231. doi:10.1007/978-3-662-48847-8_11.
 9. Cools M., Rongy C., Limbourg S. Can Autonomous Vehicles Reduce Car Mobility? Evidence from a Stated Adaptation Experiment in Belgium // Presented at the Transportation Research Board Annual Meeting. 2017.
 10. Tanvi Maheshwari. An urban design response to the technological shift in transportation [Elektronnyy resurs] / A thesis submitted to attain the degree of doctor of sciences of ETH Zurich. 2020. 285 p. URL: https://www.researchcollection.ethz.ch/bitstream/handle/20.500.11850/448978/1/20201019_ThesisPackage_SecureOnlineVersion.pdf/
 11. Dia Hussein, Javanshour Farid. Autonomous Shared Mobility-On-Demand: Melbourne Pilot Simulation Study // *Transportation Research Procedia*. 22, 2017. 285-296. doi:10.1016/j.trpro.2017.03.035.
 12. Burns L.D., Jordan W.C., Scarborough B.A. Transforming Personal Mobility [Elektronnyy resurs] / The Earth Institute, Columbia University, The Earth Institute, New York. 2012. URL: <http://wordpress.ei.columbia.edu/mobility/files/2012/12/Transforming-Personal-Mobility-Aug-10-2012.pdf/>
 13. Greenblatt Jeffery B., Shaheen Susan. Automated Vehicles // On-Demand Mobility, and Environmental Impacts. *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*. 2(3). 2015. 74-81. doi:10.1007/s40518-015-0038-5
 14. Sperling D. Three Revolutions: Steering Automated, Shared, and Electric Vehicles to a Better [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=OjgeTEOQFhc/>
 15. Kyriakidis M., de Winter J. C. F., Stanton N., Bellet T., van Arem B., Brookhuis K., Martens M.H., Bengler K., Andersson J., Merat N., Reed N., Flament M., Hagenzieker M., Happee R. A human factors perspective on automated driving // *Theoretical Issues in Ergonomics Science*. 2017. 1-27. doi:10.1080/1463922X.2017.1293187.
 16. Lipson H., Kurman M. Driverless: Intelligent Cars and the Road Ahead, First edition. ed. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts. 2016. 328 p.
 17. Carlos F. Daganzo An approximate analytic model of many-to-many demand responsive transportation systems. 12(5). 1978. 325-333. doi:10.1016/0041-1647(78)90007-2
 18. Wilson Nigel H.M., Hendrickson Chris Performance models of flexibly routed transportation services. 14(1). 1980. 67-78. doi:10.1016/0191-2615(80)90033-8
 19. Shen Yu, Zhang Hongmou, Zhao Jinhua. Integrating shared autonomous vehicle in public transportation system: A supply-side simulation of the first-mile service in Singapore // *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 113. 2018. 125-136. doi:10.1016/j.tra.2018.04.004.
 20. Greenblatt Jeffery B., Shaheen Susan. Automated Vehicles, On-Demand Mobility, and Environmental Impacts // *Current Sustainable Renewable Energy Reports*. 2(3). 2015. 74-81. doi:10.1007/s40518-015-0038-5.
 21. Litman T. The future isn't what it used to be. Victoria Transport Policy Institute [Elektronnyy resurs]. 2015. URL: <https://www.vtpi.org/future.pdf/>.
 22. Wadud Zia, MacKenzie Don, Leiby Paul. Help or hindrance? The travel, energy and carbon impacts of highly automated vehicles // *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 86. 2016. 1-18. doi:10.1016/j.tra.2015.12.001.
 23. Lyapin S.A., Kapskiy D.V., Rizaeva YU.N., Kadasev D.A. Podklyuchennyye avtomobili v intellektual'nykh transportnykh sistemakh umnykh gorodov // *Infokommunikatsionnye i intellektual'nye tekhnologii na transporte: sbornik statey MNPk*. Lipetsk: Lipetskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet. 2022. S. 7-14.
 24. Korchagin V.A., Lyapin S.A., Kartashova A.K., Namakonov B.V. Ustoychivoe razvitie obshchestva i ekonomiki na osnove samorazvivayushchikhsya sotsioprirodoekonomicheskikh sistem // *Nauchno-tekhnicheskie aspekty razvitiya avtotransportnogo kompleksa: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii v ramkakh tret'ego Mezhdunarodnogo nauchnogo foruma Donetskoy Narodnoy Respubliki «Innovatsionnye perspektivy Donbassa: Infrastrukturnoe i sotsial'no-ekonomicheskoe razvitie»*. Donetsk: Donetskii natsional'nyy tekhnicheskiy universitet. 2017. S. 258-261.

Kapski Denis Vasilievich

Belarusian National Technical University
Address: 220013, Belarus, Minsk, Nezavisimosti Ave., 65
Doctor of technical sciences
E-mail: d.kapsky@gmail.com

Bogdanovich Sergei Valerievich

Belarusian National Technical University
Address: 220013, Belarus, Minsk, Nezavisimosti Ave., 65
Candidate of technical sciences
E-mail: bsw001@gmail.com

Lyapin Sergey Alexandrovich

Lipetsk State Technical University
Address: 398055, Russia, Lipetsk, st. Moskovskaya, 30
Doctor of technical sciences
E-mail: lyapinserg2012@yandex.ru

Научная статья

УДК 625.096

doi:10.33979/2073-7432-2024-3-1(86)-108-115

А.Г. ШЕВЦОВА, А.Г. ЛОКТИОНОВА, С.А. ГУЗЕНКО, В.В. ВАСИЛЬЕВА

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ РАСШИРЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

***Аннотация.** Статья посвящена описанию разработки программно-аппаратного комплекса (ПАК), позволяющего по средством сложных операций определять технические характеристики транспортных средств, преобладающих в городском транспортном потоке. В результате работы ПАК в масштабах городской ИТС возможно расширить функциональные возможности подсистемы управления транспортными потоками за счет применения установленных параметров в алгоритмах расчета. В статье представлена структурная схема разработанного ПАК, приведено его описание и определены основные функциональные возможности городской ИТС с учетом внедрения представленной разработки.*

***Ключевые слова:** программно-аппаратный комплекс, мониторинг, транспортный поток, цикл, расчетный автомобиль, калиброванный автомобиль, технические характеристики*

Введение

Увеличение пропускной способности регулируемых пересечений посредством применения светофорного регулирования способствует снижению транспортных задержек на городской УДС в целом. Поиск новых подходов к управлению движением является неотъемлемой частью работы современных специалистов и инженеров. Одним из таких подходов является учет динамических характеристик транспортных средств при расчете управляющих параметров светофорного регулирования.

Современный мир невозможно представить без автоматизации процесса, особенно при управлении транспортными системами. Они позволяют эффективно и безопасно управлять движением транспортных средств, помогая контролировать различные аспекты транспортной инфраструктуры [1].

Улучшение транспортного сообщения, повышение уровня мобильности населения и увеличение скорости логистических перевозок, а также цифровую трансформацию транспортной отрасли, затрагивает Транспортная стратегия РФ до 2030 года. Стоит отметить, что цифровой трансформации уделяется особое внимание [2]. Такая трансформация включает в себя использование и применение различных специализированных управляющих систем [3].

Современная интеллектуальная транспортная система состоит из ряда подсистем, работа которых позволяет повысить эффективность дорожного движения. В целом, работа ИТС включает в себя сбор информации о дорожном движении, анализ трафика, прогнозирование его изменений, обмен данными между участниками движения и управление светофорным объектом. Работа первых автоматических светофоров осуществлялась по таймеру. Современные же системы являются более сложными и многофакторными, так как учитывают множество факторов (например, плотность трафика, время суток, погодные условия и др.), что позволяет оптимизировать работу светофоров и улучшить общую пропускную способность дорожной сети.

***Сбор информации.** Средства фото- и видеофиксации собирают данные о движении транспорта в наиболее загруженных точках города. Сколько транспортных средств на дороге, с какой скоростью они движутся, в какой момент замедляются или где останавливаются. Это сложная задача, требующая значительных вычислительных ресурсов, например, для выделения отдельных транспортных средств из видеопотока и отслеживания скорости и направления их движения.*

Также добавляется информация от дорожных погодных систем: температура и влажность воздуха, количество осадков, в целом состояние дорожного покрытия. Камеры и парковочные счетчики предоставляют информацию о загруженности парковочных мест и т.д.

Анализ трафика. На основании полученных данных, которые обновляются на постоянной основе, выполняется анализ загруженности участков транспортной сети, в результате которого формируется отчет о числе проехавших автотранспортных средств. Для отчета могут так же задаваться различные временные интервалы и производится учет проезда транспортных средств только по определенным полосам или в определенном направлении. Высокоточные алгоритмы на основе нейронных сетей позволяют автоматизировать подсчет транспортных средств на дорогах для определения пропускной способности и интенсивности дорожного движения. Помимо автоматического подсчета транспортных средств, возможно назначение нужных классов для анализа и сбора статистики, а также подсчет по определенным сегментам: грузовые транспортные средства, мотоциклы, легковые автомобили или маршрутные транспортные средства. Программное обеспечение для распознавания трафика основано на алгоритмах, которые позволяют переобучать систему подсчета транспортных средств в режиме реального времени адаптируя ее к более сложным условиям эксплуатации.

Моделирование трафика. Благодаря данным, которые предоставляют современные средства сбора информации, можно прогнозировать изменения дорожной обстановки, контролировать плотность потока автомобилей и создавать алгоритмы работы дорожного обслуживания при помощи математических и имитационных моделей. С учетом времени года, суток и дня недели можно смоделировать развитие различной дорожной ситуации.

Обмен данными. Городские системы выполняют процесс обмена данными. В этот добавляют искусственные вводные: например, в определенное время необходимо разгрузить участок дороги для перевозки негабаритных грузов, доставить колонну автобусов к какому-либо предприятию для перевоза сотрудников, срочно расчистить снег или пропустить дипломатический кортеж во время визита высокопоставленного лица. Эти ситуации также моделируются с помощью ИТС.

Управление движением. После проведения определенных этапов математических расчетов и создания модели, при помощи периферийных устройств (светофоры, информационные панели) система начинает свою работу. Задачей такой системы является организация движения транспортных средств с минимизацией временных задержек (например, перераспределение транспортных средств с основных более загруженных дорог на второстепенные менее загруженные) [4].

Можно сделать такой вывод: чтобы масштабно внедрить ИТС, необходимо, чтобы все этапы системы ИТС работали эффективно. Поэтому актуальна разработка программно-аппаратного комплекса (ПАК), которая будет анализировать и систематизировать большие объемы данных (рис.1) [5, 6].

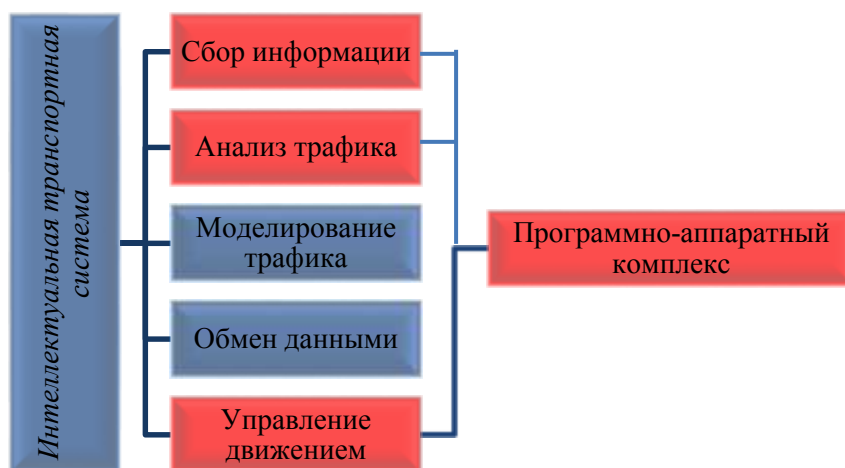


Рисунок 1 – Использование ПАК на разных этапах работы ИТС

Материал и методы

Созданный в ходе исследований программно-аппаратный комплекс (ПАК) способствует получению данных о транспортном потоке. Определяются технические характеристики транспортных средств, формирующих транспортный поток, которые в последующем используются при расчете управляющих параметров работы светофора. ПАК, с учетом изменений состава транспортного потока, автоматически выполняет расчеты и определяет параметры для расчетного автомобиля [7].

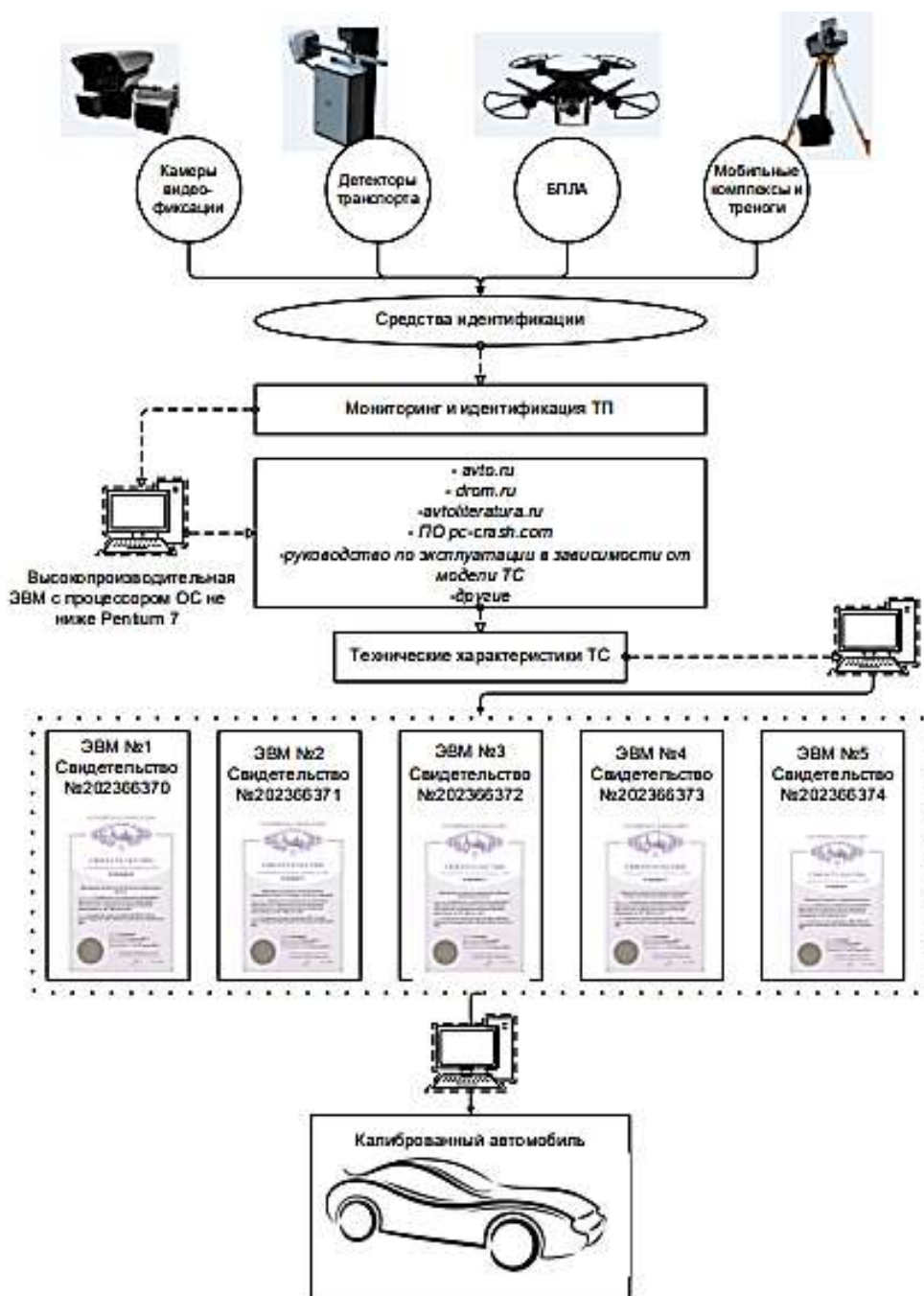


Рисунок 2 – Принцип работы ПАК

Работа ПАК состоит из нескольких этапов (рис. 2):

1) устройства фото-видеофиксации (дорожные камеры, детекторы транспорта, беспилотные летательные аппараты, мобильные комплексы) собирают информацию о составе транспортного потока. На основании процентного распределения производится сортировка различных типов транспортных средств, с получением числового значения распространен-

ных автомобилей по модельному ряду;

2) второй этап состоит из идентификации транспортного потока, включающего в себя процессы определения той или иной марки и модели транспортного средства, с целью установления его технических характеристик, а именно получения динамических параметров. Система распознавания государственных регистрационных знаков позволяет выполнять процессы установления модельного ряда автотранспортных средств;

3) полученные данные о технических характеристиках различных моделей транспортных средств, формирующих транспортный поток, создают обширную базу данных, а разработанные алгоритмы, прописанные в специальные компьютерные программы, автоматически выполняют расчет параметров расчетного автомобиля, используемого в последующем при расчете управляющих параметров светового объекта.

Программный комплекс можно применить и для других целей. Например, с помощью него можно определить местоположение автомобиля и узнать информацию о нем, поскольку комплекс включает в себя системы фото и -видеофиксации, детекторы распознавания государственных регистрационных знаков, что так же способствует повышению безопасности дорожного движения [8].

Теория / Расчет

Тяговые и скоростные свойства транспортного средства определяют динамичность движения, то есть возможность осуществлять передвижения с наибольшей средней скоростью [9], но большее влияние оказывают конструктивные факторы [10].

Для определения необходимых расчетных параметров, в работу программного комплекса заложены алгоритмы определения таких параметров (рис. 3):

1) определение тяговой силы транспортных средств (св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 202366370), осуществляется на основании формулы [11]:

$$F_T = \frac{M_e}{r} = \frac{M_e \cdot i_{тр} \cdot \eta}{r}, \quad (1)$$

где M_e - крутящий момент, кН·м;

$i_{тр}$ - передаточное число трансмиссии;

η - КПД трансмиссии;

r - радиус колеса ТС, м;

2) определение тягового баланса транспортных средств (св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 202366371), вычисляется по формуле [12]:

$$v_a = \frac{3,6 \cdot \pi \cdot n \cdot r}{30 \cdot i_{тр}} = 0,377 \cdot \frac{n \cdot r}{i_{тр}}, \quad (2)$$

где n - частота вращения колен. вала двигателя, об./мин;

$i_{тр}$ - передаточное число трансмиссии;

r - радиус колеса ТС, м;

3) динамический фактор (св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 202366372), определяется с учетом формулы [13]:

$$D = \frac{F_{св}}{m \cdot g}, \quad (3)$$

где $F_{св}$ - свободная тяговая сила, Н;

m - масса ТС, кг;

g - ускорение свободного падения м/с²;

4) мощность и крутящий момент ДВС (св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 202366373), формулы [14]:

$$P_e = P_{max} \cdot \left(\frac{n}{n_p} \cdot a + b \cdot \left(\frac{n}{n_p} \right)^2 - c \cdot \left(\frac{n}{n_p} \right)^3 \right), \quad (4)$$

где P_{max} - максимальная мощность двигателя, Вт;

n_p - частота вращения коленчатого вала двигателя, соответствующая максимальной мощности двигателя, об./мин;

n - частота вращения коленчатого вала двигателя, об./мин;

a, b, c – определяемые путем расчета коэффициенты которые зависят от типа и конструкции двигателя.

$$M_e = \frac{30 \cdot P_e}{\pi \cdot n}, \quad (5)$$

где P_e - эффективная мощность двигателя, Вт;

n - частота вращения, соответствующая максимальному крутящему моменту двигателя, об./мин;

5) ускорение автомобиля (св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 202366374), формула определения [15]:

$$j_a = \frac{D - \psi}{\delta_{вр}} \cdot g, \quad (6)$$

где D – динамический фактор;

$\delta_{вр}$ – коэффициент учёта вращающихся масс (1,05);

ψ - коэффициент сопротивления дороги;

g – ускорение свободного падения, м/с².

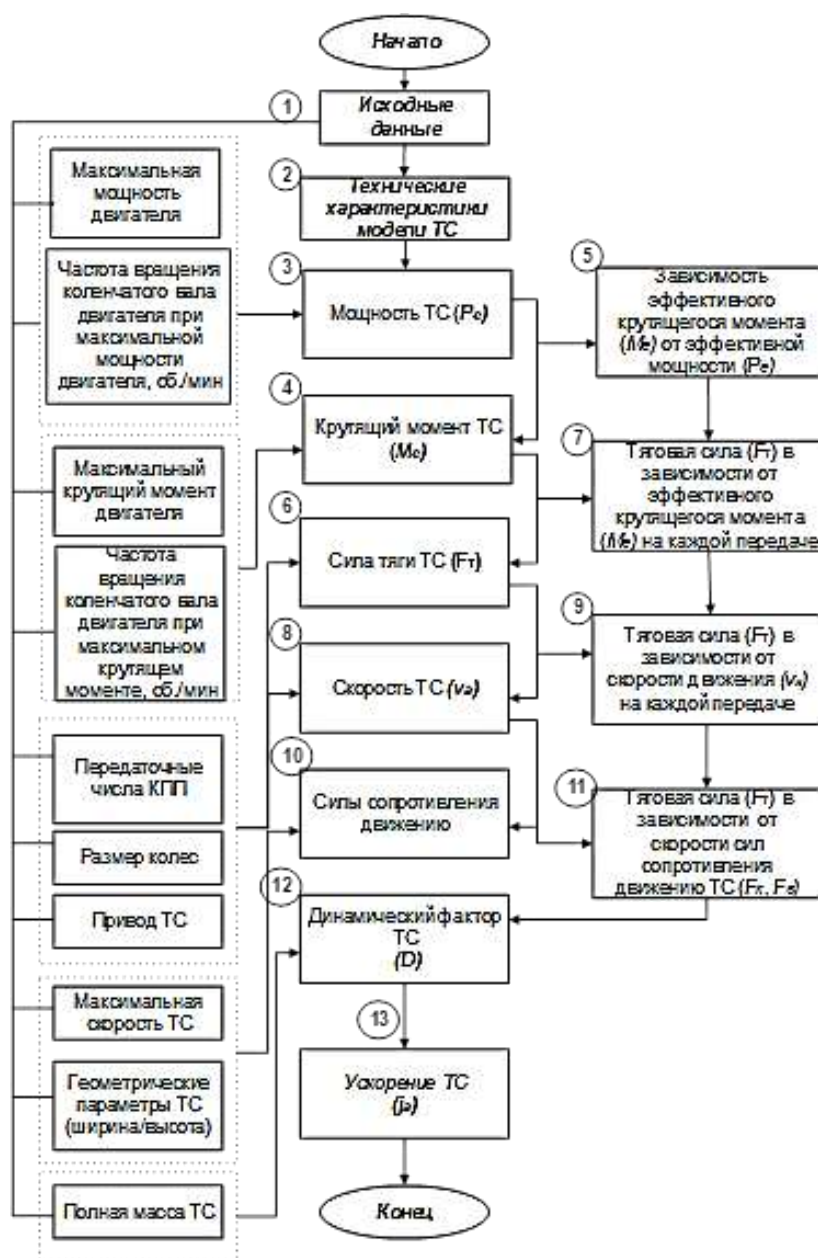


Рисунок 3 – Определение динамических характеристик транспортных средств

Результаты и обсуждение

В ходе выполненного исследования получены математические модели, позволяющие определить технические параметры для расчетного автомобиля, используемого в дальнейших расчетах при проектировании и организации дорожного движения. Полученные модели использованы при расчете управляющих параметров светофорного объекта, данные решения позволяют сократить время задержки автомобилей при проезде регулируемых перекрестков.

Разработан программно-аппаратный комплекс, автоматизирующий процессы расчета и определения параметров расчетного автомобиля. ПАК эффективен при внедрении в интеллектуальную транспортную систему на этапе сбора данных [16, 17].

Выводы

В ходе работы было создано новое технологическое решение, которое позволяет эффективнее управлять движением транспортных потоков при помощи использования элементов интеллектуальной транспортной системы, что позволяет обеспечить эффективность и безопасность транспортной инфраструктуры. Автоматизация процессов управления, улучшение координации и контроля, а также повышение комфорта для пассажиров — вот лишь некоторые преимущества таких систем. Применение технологического решения имеет множество преимуществ: помогает сократить заторы на дорогах, улучшить экологическую ситуацию и, как следствие, снизить количество аварийных ситуаций [19, 20]. Однако, внедрение такого рода автоматизированных систем управления с использованием, разработанного ПАК имеет определенные проблемы, связанное в первую очередь с построением сложной схемы взаимодействия различных структур, для обеспечения синхронизированного получения, обработки и передачи данных, а также обучением исполнителей, обеспечивающих работоспособность таких систем, что требует дальнейшей проработки и исследования.

Благодарности

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. АСУДД: эффективность + рационализация подхода // Мир дорог. 2019. №121. С. 88-89.
2. Семенчишин А.Н. Современное состояние транспортного комплекса РФ и основные проблемы реализации транспортной стратегии // Транспортное дело России. 2023. №3. С. 66-69.
3. Витолин С.В. Светофорное регулирование и безопасность дорожного движения // Дороги и мосты. 2019. №1(41). С. 138-150.
4. Басков В.Н., Исаева Е.И. Оценка уровня интеллектуализации дорожно-транспортной системы // Мир транспорта и технологических машин. 2022. №2(77). С. 76-84.
5. Ломакина М.Г. Выбор направления совершенствования систем светофорного регулирования транспортных потоков // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2017. Т. 1. С. 12-14.
6. Молчанова А.И., Ямщикова А.Н. Управление транспортными процессами на улично-дорожной сети с помощью светофорного регулирования // ИТ & Транспорт. сборник научных статей. 2015. С. 116-123.
7. Левашев А.Г., Михайлов А.Ю., Шаров М.И. К вопросу об оценке качества транспортного обслуживания в городах // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2013. Т. 3. №1. С. 16-23.
8. Loktionova, A.G., Novikov, A.N., Shevtsova A.G. Application of calibrated vehicle dynamic indicators in city traffic management // E3S Web of Conferences 413, 05010. 2023.
9. Борисова С.Е. Влияние психологических установок водителей на безопасность дорожного движения // Психология и право. 2011. №4. С. 88-98.
10. Петров А.В. К вопросу о необходимости комплексной оценки свойств автомобиля // Вестник Донской академии автомобильного транспорта. 2016. №2. С. 42-45.
11. Программа для расчета тяговой силы транспортных средств: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 202366370 / А. Г. Локтионова, С.А. Гузенко, А.Г. Шевцова: заявл. 17.07.23; опубл. 31.07.23.
12. Программа для расчета тягового баланса транспортных средств в условиях городского движения: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 202366371 / А.Г. Локтионова, С.А. Гузенко, А.Г. Шевцова: заявл. 17.07.23; опубл. 31.07.23.

13. Программа для расчета динамического фактора транспортных средств: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 202366372 / А.Г. Локтионова, А.Г. Шевцова, И.А. Новиков; заявл. 17.07.23; опубл. 31.07.23.

14. Программа для расчета мощности и крутящего момента двигателя внутреннего сгорания: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 202366373 / А.Г. Локтионова, С.А. Гузенко, А.Г. Шевцова; заявл. 17.07.23; опубл. 31.07.23.

15. Программа для расчета ускорений автомобиля: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 202366374 / А.Г. Локтионова, А.Г. Шевцова, И.А. Новиков; заявл. 17.07.23; опубл. 31.07.23.

16. Локтионова, А.Г., Шевцова А.Г., Копылова Е.В., Щетинин Н.А. Исследование разнородности динамических показателей легковых автомобилей для повышения эффективности функционирования городских транспортных систем // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №3-4(82). С. 47-53.

17. Федотов М.В., Маряшина Д.Н., Андреянов Н.В., Девятков Т.В., Минниханов Р.Р. Адаптивное управление перекрестками с использованием имитационного моделирования и искусственного интеллекта // Международный форум KAZAN DIGITAL WEEK - 2023. 2023. С. 103-109.

18. Исимова А.А., Сатаева А.Г. Цели внедрения интеллектуальных транспортных систем // Студенческий вестник. 2022. №40-8(232). С. 45-49.

19. Тумашев А.И. Автоматизированная система управления дорожным движением (АСУДД) // Инновационная наука. 2022. №11-1. С. 30-33.

20. Баните А.В., Деряга Д.С., Леоненко О.В. Совершенствование городской транспортной системы путем внедрения адаптивных систем управления дорожным движением // Автоматика на транспорте. 2021. Т. 7. №4. С. 565-583.

Шевцова Анастасия Геннадьевна

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

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

Д.т.н., доцент, профессор кафедры эксплуатации и организация движения автотранспорта

E-mail: shevcova-anastasiya@mail.ru

Локтионова Алина Геннадьевна

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

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

Аспирант

E-mail: alinabur1995@mail.ru

Гузенко Сергей Александрович

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

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

Магистрант

E-mail: guzenko95@mail.ru

Васильева Виктория Владимировна

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

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

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

E-mail: vivaorel57@gmail.com

A.G. SHEVTSOVA, A.G. LOKTIONOVA, S.A. GUZENKO, V.V. VASILYEVA

**USING THE TECHNICAL CHARACTERISTICS
OF VEHICLES TO EXPAND THE FUNCTIONALITY
OF AN INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEM**

Abstract. The article is devoted to the description of the development of a software and hardware complex (PAK), which allows using complex operations to determine the technical characteristics of vehicles prevailing in urban traffic. As a result of the work of the PAK on the scale of the urban ITS, it is possible to expand the functionality of the subsystem of traffic management by applying the established parameters in the calculation algorithms. The article presents a block diagram of the developed PAK, provides its description and defines the main functionality of the urban ITS, taking into account the implementation of the presented development.

Keywords: *hardware and software complex, monitoring, traffic flow, cycle, calculation vehicle, calibrated vehicle, technical characteristics*

BIBLIOGRAPHY

1. ASUDD: effektivnost' + ratsionalizatsiya podkhoda // *Mir dorog*. 2019. №121. S. 88-89.
2. Semenchishin A.N. Sovremennoe sostoyanie transportnogo kompleksa RF i osnovnye problemy rea-lizatsii transportnoy strategii // *Transportnoe delo Rossii*. 2023. №3. S. 66-69.
3. Vitolin S.V. Svetofornoe regulirovanie i bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya // *Dorogi i mosty*. 2019. №1(41). S. 138-150.
4. Baskov V.N., Isaeva E.I. Otsenka urovnya intellektualizatsii dorozhno-transportnoy sistemy // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2022. №2(77). S. 76-84.
5. Lomakina M.G. Vybora napravleniya sovershenstvovaniya sistem svetofornogo regulirovaniya transportnykh potokov // *Aktual'nye problemy sovremennoy nauki, tekhniki i obrazovaniya*. 2017. T. 1. S. 12-14.
6. Molchanova A.I., YAmshchikova A.N. Upravlenie transportnymi protsessami na ulichno-dorozhnoy seti s pomoshch'yu svetofornogo regulirovaniya // *IT & Transport. sbornik nauchnykh statey*. 2015. S. 116-123.
7. Levashev A.G., Mikhaylov A.YU., Sharov M.I. K voprosu ob otsenke kachestva transportnogo obsluzhivaniya v gorodakh // *Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii*. 2013. T. 3. №1. S. 16-23.
8. Loktionova, A.G., Novikov, A.N., Shevtsova A.G. Application of calibrated vehicle dynamic indicators in city traffic management // *E3S Web of Conferences* 413, 05010. 2023.
9. Borisova S.E. Vliyanie psikhologicheskikh ustanovok voditeley na bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya // *Psikhologiya i pravo*. 2011. №4. S. 88-98.
10. Petrov A.V. K voprosu o neobkhodimosti kompleksnoy otsenki svoystv avtomobilya // *Vestnik Donetskoy akademii avtomobil'nogo transporta*. 2016. №2. S. 42-45.
11. Programma dlya rascheta tyagovoy sily transportnykh sredstv: svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 202366370 / A. G. Loktionova, S.A. Guzenko, A.G. Shevtsova: zayavl. 17.07.23; opubl. 31.07.23.
12. Programma dlya rascheta tyagovogo balansa transportnykh sredstv v usloviyakh gorodskogo dvizheniya: svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 202366371 / A.G. Loktionova, S.A. Guzenko, A.G. Shevtsova; zayavl. 17.07.23; opubl. 31.07.23.
13. Programma dlya rascheta dinamicheskogo faktora transportnykh sredstv: svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 202366372 / A.G. Loktionova, A.G. Shevtsova, I.A. Novikov; zayavl. 17.07.23; opubl. 31.07.23.
14. Programma dlya rascheta moshchnosti i krutyashchego momenta dvigatelya vnutrennego sgoraniya: svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 202366373 / A.G. Loktionova, S.A. Guzenko, A.G. Shevtsova; zayavl. 17.07.23; opubl. 31.07.23.
15. Programma dlya rascheta uskoreniy avtomobilya: svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 202366374 / A.G. Loktionova, A.G. Shevtsova, I.A. Novikov; zayavl. 17.07.23; opubl. 31.07.23.
16. Loktionova, A.G., Shevtsova A.G., Kopylova E.V., Shchetinin N.A. Issledovanie raznorodnosti dinamicheskikh pokazateley legkovykh avtomobiley dlya povysheniya effektivnosti funktsionirovaniya gorodskikh transportnykh sistem // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2023. №3-4(82). S. 47-53.
17. Fedotov M.V., Maryashina D.N., Andreyanov N.V., Devyatkov T.V., Minnikhanov R.R. Adaptivnoe upravlenie perekrestkami s ispol'zovaniem imitatsionnogo modelirovaniya i iskusstvennogo intellekta // *Mezhdunarodnyy forum KAZAN DIGITAL WEEK - 2023*. 2023. S. 103-109.
18. Isimova A.A., Sataeva A.G. Tseli vnedreniya intellektual'nykh transportnykh sistem // *Studencheskiy vestnik*. 2022. №40-8(232). S. 45-49.
19. Tumashev A.I. Avtomatizirovannaya sistema upravleniya dorozhnym dvizheniem (ASUDD) // *Innovatsionnaya nauka*. 2022. №11-1. S. 30-33.
20. Banite A.V., Deryaga D.S., Leonenko O.V. Sovershenstvovanie gorodskoy transportnoy sistemy putem vnedreniya adaptivnykh sistem upravleniya dorozhnym dvizheniem // *Avtomatika na transporte*. 2021. T. 7. №4. S. 565-583.

Shevtsova Anastasia Gennadyevna

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

Loktionova Alina Gennadyevna

Belgorod State Technological University
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova st., 46
Postgraduate student
E-mail: alinabur1995@mail.ru

Guzenko Sergey Alexandrovich

Belgorod State Technological University
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova st., 46
Master's student
E-mail: guzenko95@mail.ru

Vasilyeva Victoria Vladimirovna

Oryol State University
Address: 302030, Russia, Orel, st. Moskovskaya, 77
Candidate of Technical Sciences
Email: vivaorel57@gmail.com

Научная статья

УДК 656

doi:10.33979/2073-7432-2024-3-1(86)-116-122

А.В. ДОМБАЛЯН, Е.Е. ШАТАЛОВА, Н.С. НЕГРОВ

КООПЕРАТИВНЫЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ: СВЯЗЬ МЕЖДУ ТРАНСПОРТНЫМ СРЕДСТВОМ И ИНФРАСТРУКТУРОЙ

Аннотация. Рассмотрено развитие и внедрение кооперативных интеллектуальных транспортных систем в целях улучшения управления дорожным движением для повышения безопасности дорожного движения, а также реализуемые коммуникационные технологии в области кооперативных интеллектуальных транспортных систем.

Ключевые слова: кооперативные интеллектуальные транспортные системы, информационно-коммуникационные технологии, высокоавтоматизированные транспортные средства

Введение

Новый виток мировой промышленной революции, вызванный информатизацией, приводит к серьезным изменениям в автомобильной промышленности. Интеллектуализация и сетевое взаимодействие стали неизбежной тенденцией для развития автомобилей будущего.

Материал и методы

Интеллектуальные транспортные системы (ИТС) – это интеграция телекоммуникационных и информационных технологий в транспортные системы [1]. Основной целью этих систем является улучшение транспортной ситуации на автомобильных дорогах, например, повышение безопасности пользователей транспортной системы в пути, а также уменьшения количества заторовых ситуаций [2]. На рисунке 1 представлена интеллектуальная транспортная система Российской Федерации, на рисунке 2 – схема ИТС, а на рисунке 3 – методические направления организации дорожного движения [3].



Рисунок 1 - Интеллектуальная транспортная система Российской Федерации

Теория

Концепция ИТС заключается в следующем: интеллектуальная городская мобильность будущего, где люди и транспортная система неразрывно связаны, взаимодействуя через инновационные, современные ИТ-технологии [4]. Развитие ИТС позволяет:

- повысить эффективность управления транспортно-дорожным комплексом для соответствия современным критериям качества транспортного обслуживания и безопасности дорожного движения, достижения требуемого уровня мобильности населения [5];

- применить современные информационно-коммуникационные технологии на всех стадиях жизненного цикла объектов транспортной инфраструктуры – планирование, проектирование, строительство, эксплуатация [6].

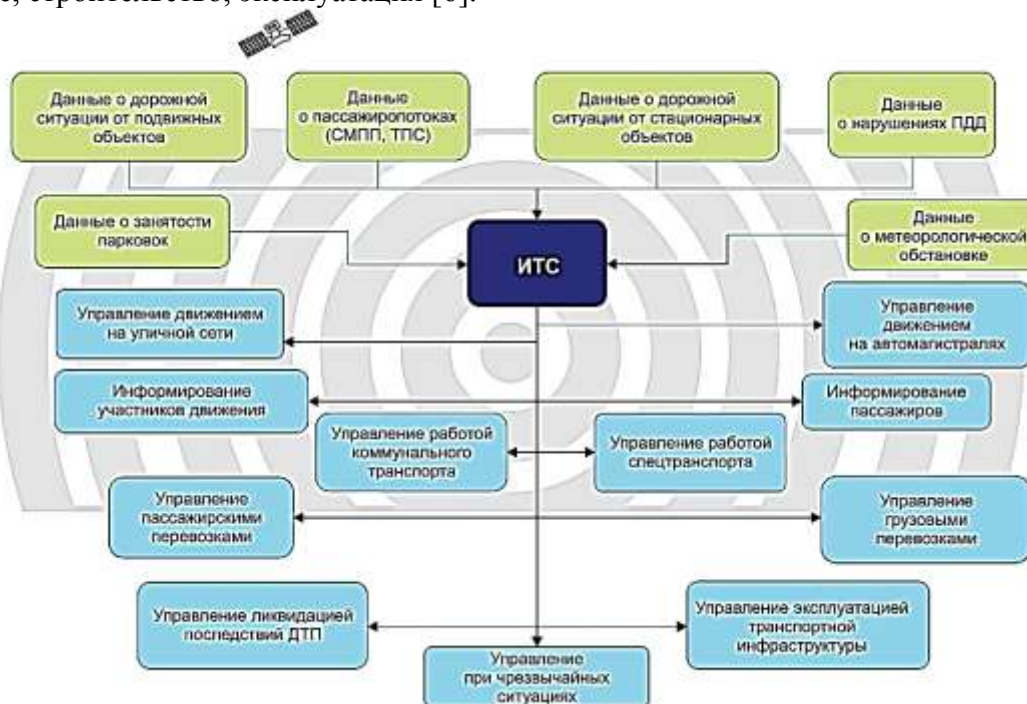


Рисунок 2 – Схема ИТС

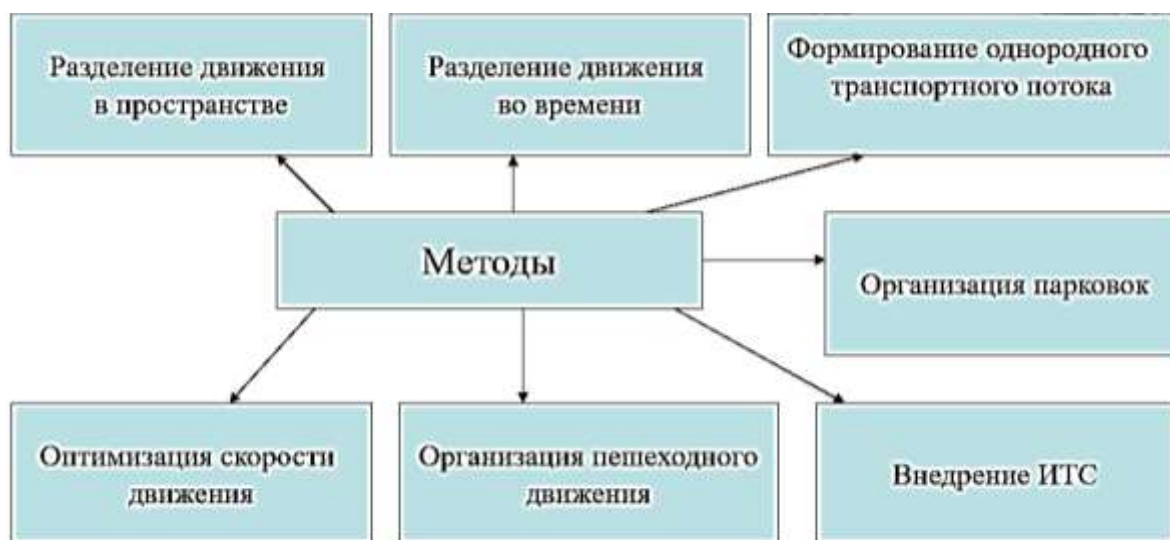


Рисунок 3 - Методические направления организации дорожного движения

Информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) - это использование компьютеров и коммуникационных систем для сбора, отправки, хранения, обработки и использования данных. ИКТ являются основой для интеллектуальных транспортных систем (ИТС), включающих широкий спектр разнообразных технологий в транспортной сфере, использующих датчики, связь, обработку информации и технологии управления [7]. Связь между транспортными средствами и инфраструктурой определяет область кооперативных ИТС (К-ИТС) [8]. Разработка и внедрение кооперативных ИТС происходит с целью повышения безопасности дорожного движения, оптимизации управления транспортным потоком и повышения комфорта пользователей транспортной системы. К-ИТС основаны на ИКТ, таких как сенсорная технология, телекоммуникации, обработка информации и технология управления. Различные технологии могут быть объединены различными способами для создания автономных бортовых систем и совместных систем [9].

В свою очередь кооперативные интеллектуальные системы построены на основе самоорганизующихся сетей, известных как межсетевое взаимодействие транспортных средств [10].

Межсетевое взаимодействие транспортных средств состоит из подключенных или высокоавтоматизированных транспортных средств (BATS), соединенных беспроводными каналами связи с помощью бортовых устройств внутри транспортного средства, а также телекоммуникационной придорожной инфраструктуры, так что транспортные средства могут создавать, при определенных условиях, бесперебойный обмен данными во время движения по автомобильным дорогам [11]. Некоторые элементы придорожной инфраструктуры могут выступать в качестве шлюза для подключения к другим коммуникационным сетям, таким как Интернет, как показано на рисунке 4 [12].

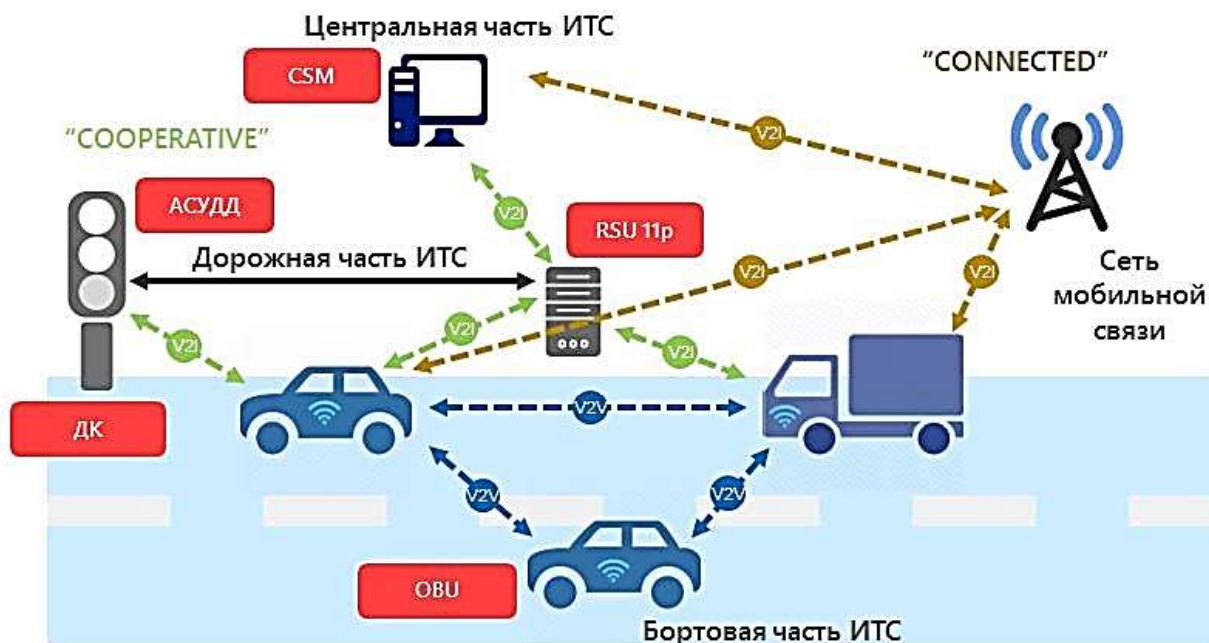


Рисунок 4 – Пример межсетевого взаимодействия транспортных средств

Каждое бортовое устройство имеет беспроводной сетевой интерфейс, который позволяет транспортному средству напрямую подключаться к другим транспортным средствам и придорожной инфраструктуре в пределах его диапазона связи, а также беспроводные или проводные интерфейсы, к которым могут быть подключены другие устройства, как центра управления дорожным движением, так и других пользователей транспортной системы [13]. Применяя коммуникации между транспортными средствами (V2V), между транспортными средствами и инфраструктурой (V2I), внутри транспортных средств и между транспортными средствами и широкополосным облаком (V2B), как показано на рисунке 3, образовывается возможность развития кооперативных интеллектуальных транспортных систем [14]. Такие системы могут поддерживать широкий спектр приложений в области безопасности дорожного движения, информирования пассажиров и оптимизации движения транспортных средств, что является основной причиной того, что данные системы получили большое внимание со стороны правительства, научных и промышленных организаций по всему миру [15]. В Кооперативных ИТС существует четыре основных типа связи, как показано на рисунке 5.

При коммуникации между транспортными средствами (V2V) связь между транспортными средствами осуществляется в режиме межсетевого взаимодействия. При таком типе связи транспортное средство может отправлять, получать или обмениваться с другими транспортными средствами ценной и важной информацией, такой как дорожные условия и текущей транспортной ситуацией. Связь «транспортное средство – инфраструктура» (V2I) применяется для передачи критически важных сообщений между сетевой инфраструктурой и транспортными средствами, а также для передачи важной информации о дорожных условиях и оповещениях безопасности. В этом типе связи транспортное средство создает соединение с

придорожным устройством для связи с внешними сетями, такими как Интернет. Очевидно, что каналы V2I менее подвержены внешнему воздействию и требуют большей пропускной способности по сравнению с каналами V2V [16]. Межсетевое взаимодействие транспортных средств играет важную роль в кооперативных ИТС и позволяет определить производительность транспортного средства и, в частности, поведение водителя, что очень важно для общественной безопасности в сфере управления дорожным движением. При реализации взаимодействия «транспортное средство – облачное хранение данных» (V2B) транспортные средства могут обмениваться данными с помощью беспроводных широкополосных систем, таких как 5G/V2X. Данный тип связи полезен для активной помощи водителю и мониторинга транспортных потоков, так как облачное хранение данных содержит больше информации о дорожной обстановке, данные мониторинга, а также информационные материалы [17].

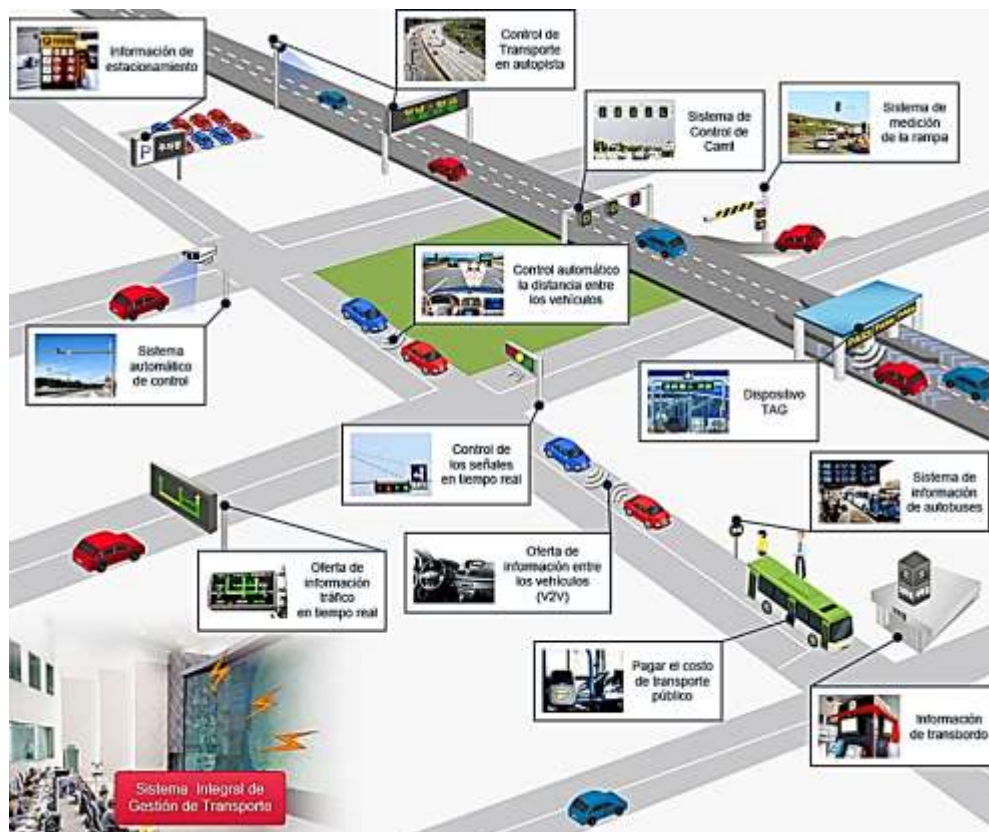


Рисунок 5 – Типы связи в кооперативных ИТС

Результаты и обсуждение

Фактически, межсетевое взаимодействие транспортных средств обеспечивает децентрализованную среду для распространения данных о дорожной ситуации, не требуя наличия определённой телекоммуникационной инфраструктуры. Современные исследования в этой области показывают, что если предупреждающие сообщения, в данных сетях, будут доставляться пользователям транспортной системы вовремя, то 60 % дорожно-транспортных происшествий удастся избежать. То есть, пользователи транспортной системы могут получать жизненно важную информацию о текущих дорожных условиях, путем сетевого взаимодействия транспортных средств и придорожной инфраструктурой, что помогает смягчить последствия ДТП и обеспечить мониторинг дорожной обстановки для повышения безопасности и пропускной способности автомобильных дорог [18].

Поэтому, чтобы предотвратить тысячи дорожно-транспортных происшествий, а также сократить количество пострадавших, необходимо своевременно распространять актуальную информацию среди пользователей транспортной системы.

Приложения кооперативных ИТС можно разделить на три категории: безопасность, управление дорожным движением и информационно-развлекательные приложения [19].

Приложения для обеспечения безопасности направлены на минимизацию аварийных ситуаций и повышение безопасности вождения путем предоставления водителям и пассажирам полезной информации, включая предупреждение о возможном столкновении, сигнализацию о приближающемся транспортном средстве, дублировании дорожных знаков и т.д. Приложения в категории управления дорожным движением используют межсетевое взаимодействие транспортных средств для обмена информацией о текущей дорожной ситуации между транспортными средствами с целью оптимизации движения и повышения комфорта водителя. Основной целью категории информационно-развлекательных систем является предоставление водителям соответствующей информации, рекламы во время осуществления поездки [20].

Выводы

Определенно, распространение информации играет важную роль в эффективной коммуникации между транспортными средствами в сети для повышения безопасности движения и комфорта пользователей транспортной системы. Ожидается, что в ближайшем будущем почти все транспортные средства будут оснащены средствами связи, ориентированными на обеспечение сетевого взаимодействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зырянов В.В., Феофилова А.А., Чуклинов Н.Н. Динамическая маршрутизация транспортных потоков как метод снижения транспортной нагрузки на элементы УДС // Мир транспорта и технологических машин. 2018. №1(60). С. 74-80.
2. Жанказиев С.В. Разработка проектов интеллектуальных транспортных систем: Учеб. пособие. М.: МАДИ, 2016. 104 с.
3. Zyryanov V., Kocherga V. Simulation for development of urban traffic: the Rostov-on-don approach of traffic management // 13th World Congress on Intelligent Transport Systems and Services 13, ITS: Delivering Transport Excellence. 2015.
4. Intelligent Transportation System Planning in the Age of Artificial Intelligence Ning Sun E3S [Электронный ресурс] / Web of Conferences. №253. 2021. P. 01036. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125301036>
5. M. Veres, M. Moussa Deep learning for intelligent transportation systems: a survey of emerging trends //IEEE Trans. Intell. Transport. Syst. №21(8). 2020. P. 3152-3168.
6. Zyryanov V. Simulation Network-Level Relationships of Traffic Flow // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. №698. 2019. P. 066049. doi:10.1088/1757-899X/698/6/066049.
7. Zyryanov V. Methods for evaluation of mobility in modern cities // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. №698. 2019. P. 066048. doi:10.1088/1757-899X/698/6/066048.
8. Зырянов В.В., Загидуллин Р.Р. Методика оценки и выбора варианта организации движения транспорта при проведении масштабных массовых мероприятий // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2017. №2. С. 43-47.
9. Домбалян А.В., Зырянов В.В., Шаталова Е.Е., Проскурина О.В. Разработка геоинформационной базы пешеходных потоков в Ростовской агломерации УДС // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №2(83). С. 81-88.
10. Домбалян А.В., Шаталова Е.Е. Разработка мероприятий по организации дорожного движения в городах с учетом экологических параметров // Мир транспорта и технологических машин. 2022. №3-3(78). С. 105-109.
11. Домбалян А.В. Особенности методов управления транспортным спросом // Научное обозрение. 2014. №10-2. С. 568-571.
12. Домбалян А.В., Шаталова Е.Е. Развитие интеллектуальных транспортных систем в мире // Строительство - 2015: Строительство. Дороги. Транспорт: Материалы Международной научно-практической конференции. - 2015. - С. 81-82.
13. Домбалян А.В. Характеристика методики моделирования и определения перспективного спроса на транспортные передвижения и его распределения в транспортной системе // Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта. 2015. №1. С. 4-10.
14. Effectiveness of Intelligent Transportation System: case study of Lahore safe city [Электронный ресурс] / Transportation Letters. URL: <https://doi.org/10.1080/19427867.2021.1953896>.
15. Fayaz D. Intelligent transport system – a review [Электронный ресурс] / Research Gate. 2018. URL: <https://www.researchgate.net/publication/329864030>.
16. Development prospects of the technologies and infrastructure for a transport and logistics system of a new type Gleb Savin E3S [Электронный ресурс] / Web of Conferences №296. 2021. P. 03012. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202122901006>.

17. Dombalyan, A., Shatalova, E., Semchugova, E., Proskurina, O. Studying pedestrian flows to improve the Rostov-on-Don's intelligent transport system [Электронный ресурс] / E3S Web of Conferences №371. 2023. P. 05023. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337105023>.
18. Intelligent Transportation System Planning in the Age of Artificial Intelligence Ning Sun E3S [Электронный ресурс] / Web of Conferences №253. 2021. P. 01036. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125301036>.
19. Zhou Y., Wang J., Yang H. Resilience of transportation systems: concepts and comprehensive review // IEEE Trans. Intell. Transport. Syst. №20(12). 2019. P. 4262-4276.
20. Dombalyan A., Shatalova E., Miroshnichenko A., Mironchuk A. Introducing Cooperative Intelligent Transport Systems into Urban Road and Transport Infrastructure [Электронный ресурс] / Lecture Notes in Networks and Systems. №733. 2024. P. 359–368. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-37978-9_35.

Домбальян Анжелика Вагановна

Донской государственный технический университет

Адрес: Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

Старший преподаватель кафедры «Организация перевозок и дорожного движения»

E-mail: anzhelika-888@mail.ru

Шаталова Елена Егоровна

Донской государственный технический университет

Адрес: Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

Доцент, доцент кафедры «Организация перевозок и дорожного движения»

E-mail: ls77@mail.ru

Негров Николай Семенович

Донской государственный технический университет

Адрес: Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина 1

Доцент, доцент кафедры «Организация перевозок и дорожного движения»

E-mail: nnegrov@yandex.ru

A.V. DOMBALYAN, E.E. SHATALOVA, N.S. NEGROV

COOPERATIVE INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS: THE CONNECTION BETWEEN THE VEHICLE AND THE INFRASTRUCTURE

Abstract. *The development and implementation of cooperative intelligent transport systems in order to improve traffic management to improve road safety, as well as implemented communication technologies in the field of cooperative intelligent transport systems, are considered.*

Key words: *cooperative intelligent transport systems, information and communication technologies, highly automated vehicles*

BIBLIOGRAPHY

1. Zyryanov V.V., Feofilova A.A., Chuklinov N.N. Dinamicheskaya marshrutizatsiya transportnykh potokov kak metod snizheniya transportnoy nagruzki na elementy UDS // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2018. №1(60). S. 74-80.
2. ZHankaziev S.V. Razrabotka proektov intellektual'nykh transportnykh sistem: Ucheb. posobie. M.: MADI, 2016. 104 s.
3. Zyryanov V., Kocherga V. Simulation for development of urban traffic: the Rostov-on-don approach of traffic management // 13th World Congress on Intelligent Transport Systems and Services 13, ITS: Delivering Transport Excellence. 2015.
4. Intelligent Transportation System Planning in the Age of Artificial Intelligence Ning Sun E3S [Elektronnyy resurs] / Web of Conferences. №253. 2021. R. 01036. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125301036>
5. M. Veres, M. Moussa Deep learning for intelligent transportation systems: a survey of emerging trends //IEEE Trans. Intell. Transport. Syst. №21(8). 2020. P. 3152-3168.
6. Zyryanov V. Simulation Network-Level Relationships of Traffic Flow // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. №698. 2019. R. 066049. doi:10.1088/1757-899X/698/6/066049.
7. Zyryanov V. Methods for evaluation of mobility in modern cities // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. №698. 2019. R. 066048. doi:10.1088/1757-899X/698/6/066048.

8. Zyryanov V.V., Zagidullin R.R. Metodika otsenki i vybora varianta organizatsii dvizheniya transporta pri provedenii masshtabnykh massovykh meropriyatiy // *Intellect. Innovatsii. Investitsii*. 2017. №2. S. 43-47.
9. Dombalyan A.V., Zyryanov V.V., Shatalova E.E., Proskurina O.V. Razrabotka geoinformatsionnoy bazy peshekhodnykh potokov v Rostovskoy aglomeratsii UDS // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2023. №2(83). S. 81-88.
10. Dombalyan A.V., Shatalova E.E. Razrabotka meropriyatiy po organizatsii dorozhnogo dvizheniya v gorodakh s uchetom ekologicheskikh parametrov // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2022. №3-3(78). S. 105-109.
11. Dombalyan A.V. Osobennosti metodov upravleniya transportnym sprosom // *Nauchnoe obozrenie*. 2014. №10-2. S. 568-571.
12. Dombalyan A.V., Shatalova E.E. Razvitie intellektual'nykh transportnykh sistem v mire // *Stroitel'stvo - 2015: Stroitel'stvo. Dorogi. Transport: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. - 2015. - S. 81-82.
13. Dombalyan A.V. Harakteristika metodiki modelirovaniya i opredeleniya perspektivnogo sprosa na transportnye peredvizheniya i ego raspredeleniya v transportnoy sisteme // *Vestnik Donetskoy akademii avtomobil'nogo transporta*. 2015. №1. S. 4-10.
14. Effectiveness of Intelligent Transportation System: case study of Lahore safe city [Elektronnyy resurs] / *Transportation Letters*. URL: <https://doi.org/10.1080/19427867.2021.1953896>.
15. Fayaz D. Intelligent transport system - a review [Elektronnyy resurs] / *Research Gate*. 2018. URL: <https://www.researchgate.net/publication/329864030>.
16. Development prospects of the technologies and infrastructure for a transport and logistics system of a new type Gleb Savin E3S [Elektronnyy resurs] / *Web of Conferences №296*. 2021. R. 03012. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202122901006>.
17. Dombalyan, A., Shatalova, E., Semchugova, E., Proskurina, O. Studying pedestrian flows to improve the Rostov-on-Don's intelligent transport system [Elektronnyy resurs] / *E3S Web of Conferences №371*. 2023. P. 05023. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337105023>.
18. Intelligent Transportation System Planning in the Age of Artificial Intelligence Ning Sun E3S [Elektronnyy resurs] / *Web of Conferences №253*. 2021. R. 01036. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125301036>.
19. Zhou Y., Wang J., Yang H. Resilience of transportation systems: concepts and comprehensive review // *IEEE Trans. Intell. Transport. Syst.* №20(12). 2019. R. 4262-4276.
20. Dombalyan A., Shatalova E., Miroshnichenko A., Mironchuk A. Introducing Cooperative Intelligent Transport Systems into Urban Road and Transport Infrastructure [Elektronnyy resurs] / *Lecture Notes in Networks and Systems. №733*. 2024. R. 359-368. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-37978-9_35.

Dombalyan Angelika Vaganovna

Don State Technical University

Address: Russia, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1

Senior lecturer

E-mail: anzhelika-888@mail.ru

Shatalova Elena Egorovna

Don State Technical University

Address: Russia, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1

Associate Professor

E-mail: ls77@mail.ru

Negrov Nikolay Semyonovich

Don State Technical University

Address: Russia, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1

Associate Professor

E-mail: nnegrov@yandex.ru

Научная статья

УДК 62.799

doi:10.33979/2073-7432-2024-3-1(86)-123-130

Т.Н. ЗАМОТА, О.Н. ЗАМОТА, Е.В. ТУРУШИНА

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЯ ПРИ ВНЕДРЕНИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ТО И Р

Аннотация. В работе теоретически разработана и экспериментально подтверждена методика расчета экономической эффективности $C_{эф}$ эксплуатации автомобиля при различных стратегиях замены старого автомобиля новым. Показано, что существуют временные периоды, когда замена старого автомобиля на новый экономически не оправдана. Согласно полученным результатам, замена старого автомобиля, эксплуатирующегося в Луганской Народной Республике, становится экономически обоснованной только после семи лет эксплуатации. Для получения максимальной $C_{эф}$ необходимо продать автомобиль при достижении четырнадцати лет. Сбор данных о текущих параметрах работы основных узлов и агрегатов, влияющих на экономическую эффективность эксплуатации, прогнозирование по полученным данным зависимости стоимости владения автомобилем $C_{ва}$, возможно только при внедрении интеллектуальной системы технического обслуживания автомобиля, разрабатываемой авторами.

Ключевые слова: автомобиль, эксплуатация, экономическая эффективность, интеллектуальная система технического обслуживания, калькуляция затрат на эксплуатацию

Введение

Затраты на содержание автомобиля имеют целый ряд методик подсчета [1]. Считается, что эти затраты могут иметь линейные и экспоненциальные зависимости [2-4]. Для отечественной науки и практики наибольшее распространение получили линейные модели подсчета затрат (рис. 1, кривая 2). Недостатком такого подхода является слабая корреляция с реальными затратами, которые наблюдаются при значительных пробегах [1].

С увеличением сроков службы автомобилей и ростом пробега, наблюдается экспоненциальное возрастание затрат, которое компенсируется с помощью коэффициентов, изменяющих угол наклона прямой затрат [6-8]. В этом случае могут допускаться ошибки из-за низкой квалификации инженерного персонала и неправильно выбранных коэффициентов. Использование такого подхода предъявляет повышенные требования к квалификации персонала, производящего калькуляцию затрат, что вызывает перерасход средств на эксплуатацию [9, 10].

Материал и методы

Экспоненциальный подход учета затрат характерен для многих зарубежных исследователей. В научной литературе США и Европы существуют целые направления по оценке затрат на миль пробега по отдельным системам автомобиля, и с учетом пробега с начала эксплуатации. Такой статистический подход приводит к нахождению усредненных зависимостей (рис. 1, кривая 3) [10-12], которые могут не совпадать с реальными данными по каждому конкретному автомобилю. Оба представленных метода применимы для определения усредненной картины затрат и недостаточно точны для оценки затрат конкретного автомобиля в реальных условиях эксплуатации.

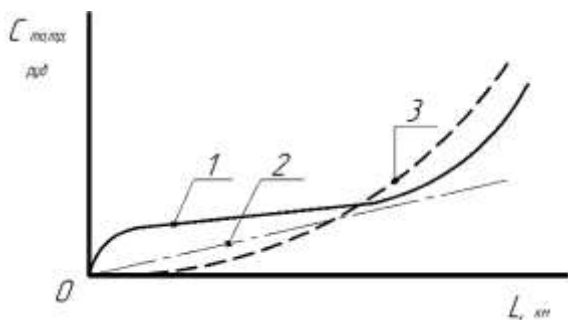


Рисунок 1 – Изменения средств на эксплуатацию автомобиля $C_{то,тр}$ по различным моделям:
1-для расчета в Белоруссии, 2-по методике расчета в РФ и ЛНР, 3-для расчета в США

Наибольшее отклонение от возможной реальной картины наблюдается в начале эксплуатации и при значительных пробегах [13-15]. Возрастание потока отказов в начальный период эксплуатации происходит из-за так называемого явления «выгорание отказов». Этот процесс тяжело поддается усреднению и необходим учет отказов конкретного автомобиля. Методики подсчета, показывающие «среднюю температуру по палате», не являются точными и не могут быть применены в современных условиях [16].

Сделана попытка в нормативных документах приблизить методику подсчета затрат к реальной ситуации (рис.1, кривая 1) [1]. Исходя из выше сказанного, необходимо разработать такие подходы к оценке затрат на эксплуатацию автомобиля, которые позволят за счет разработанной авторами встраиваемой интеллектуальной системы технического обслуживания (ИС ТО) контролировать техническое состояние систем автомобиля, которые имеют наибольший поток отказов и приносят повышенные затраты. На основе внедрения элементов ИС ТО необходимо внедрить такие подходы к эксплуатации автомобилей, которые будут позволять проводить элементы ТО в наиболее оптимальный момент, анализировать изменения состояния автомобиля и производить прогнозирование его работоспособности [1].

Теория

В настоящее время разрабатываются системы точного учета технического состояния автомобиля (интеллектуальная система ТО), позволяющие учитывать особенности его эксплуатации, динамики изменения основных параметров, и стоимости выполнения работ, запасных частей, в конкретном регионе, где эксплуатируется автомобиль [17, 18]. При использовании подобных систем, допускается формирование базы данных по изменению основных ресурсопределяющих параметров для конкретного автомобиля. По ним, в условиях реального времени, можно построить корреляционную кривую, позволяющую сделать прогноз об остаточном ресурсе автомобиля и его систем. Это позволит производить корректную оценку средств для эксплуатации автомобиля с учетом изменения его технического состояния, условий эксплуатации в конкретном регионе.

$$C_{1BA}(x) = C_{HA} + C_{13A}(x) = C_{HA} + C_T(x) + C_{PM}(x) + C_{TOHP}(x) = C_{HA} + C_{\Sigma}(x), \quad (1)$$

где $C_{1BA}(x)$ – стоимость владения первым автомобилем в зависимости от пробега, руб;

$C_{13A}(x)$ – стоимость эксплуатации первого автомобиля в зависимости от пробега, руб;

C_{HA} – стоимость покупки нового автомобиля, руб;

$C_T(x)$ – затраты на топливо при определенном пробеге x , руб;

$C_{PM}(x)$ – затраты на расходные материалы и запчасти в зависимости от пробега x , руб;

$C_{TOHP}(x)$ – затраты на ТО и Р в зависимости от пробега x , руб;

$C_{\Sigma}(x)$ – суммарные эксплуатационные затраты.

Принимаем для расчетов $C_{HA} = \text{const}$.

Остаточная стоимость автомобиля C_{CA} для его продажи равна:

$$C_{1CA} = C_{1CA}(x). \quad (2)$$

В начальный момент времени:

$$C_{1CA} = C_{HA}. \quad (3)$$

В процессе эксплуатации автомобиль становится дешевле, его цена понижается. Потеря стоимости автомобиля в момент времени x составляет:

$$C(x) = C_{HA} - C_{1CA}(x). \quad (4)$$

Исходя из (4), можно записать:

$$C_{HA} = C_{CA}(x) + C(x).$$

В момент времени, когда будет принято решение о покупке нового (второго) автомобиля, необходимо будет продать первый за сумму C_{CA} , добавить C и приобрести второй автомобиль. Стоимость владения первым автомобилем в этот момент равна:

$$C_{BA} = C_{1BA}(x_n), \quad (5)$$

где x_n – значение пробега или наработки автомобиля (в представленной системе координат значение пробега в км) в момент покупки нового.

Общая стоимость владения автомобилем при покупке второго составит:

$$C_{2BA}(x_n) = C_{1BA}(x_n) + (C_{HA} - C_{CA}(x_n)) = C_{1BA}(x_n) + C(x_n).$$

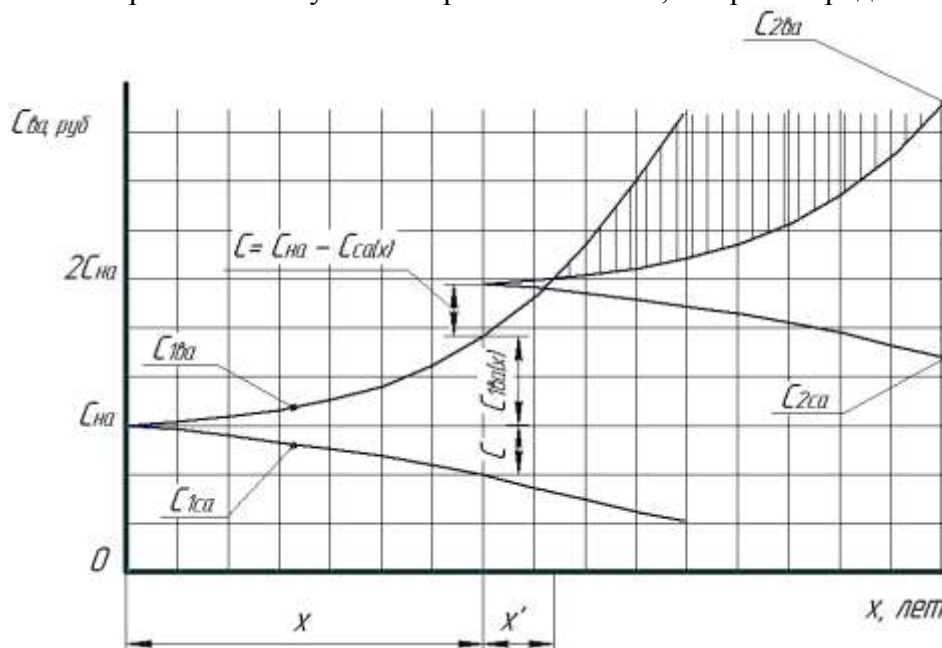
Следовательно, в момент x_n начинается отсчет стоимости владения вторым автомобилем:

$$C_{2BA}(x_n + x') = C_{1BA}(x') + C(x_n) + C_{\Sigma}(x'), \quad (6)$$

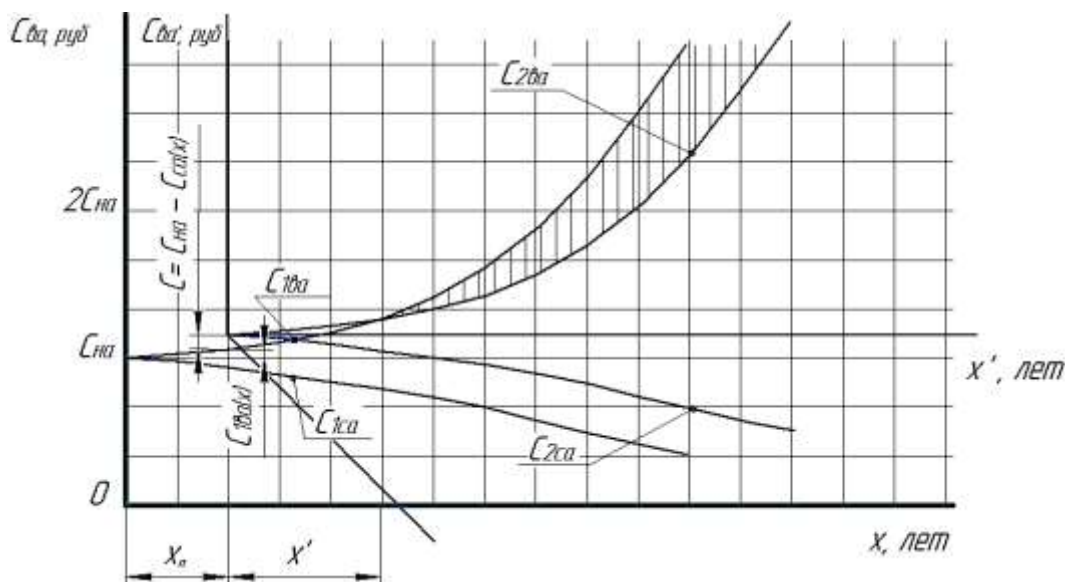
Сравним два возможных варианта эксплуатации автомобилей:

1 – эксплуатируем первый автомобиль до списания;

2 – в момент времени x покупаем второй автомобиль, а первый продаем.



а



б

Рисунок 2 – Схема для определения момента замены автомобиля на новый при учете снижения стоимости автомобиля C_{CA} и затрат на владение C_{BA} при существующей системе TO и P

Согласно первому варианту $C_{1BA}(x)$ определяем по формуле (1).

При покупке нового автомобиля в момент времени x , принимаем его за начало отсчета срока эксплуатации второго автомобиля и обозначим интервал по оси абсцисс через x' .

Стоимость владения вторым автомобилем определяем по формуле (6).

Для определения момента эксплуатации, когда стоимости владения по 1-му и 2-му вариантам равны. Для этого приравниваем уравнения (1) и (6):

$$C_{1BA}(x_n + x') = C_{2BA}(x'), \quad (7)$$

$$\begin{aligned}C_{HA} + C_{\Sigma}(x_n + x') &= C_{HA} + C_{1BA}(x_n) + C(x_n) + C_{\Sigma}(x') \\C_{\Sigma}(x_n + x') &= C_{1BA}(x_n) + C(x_n) + C_{\Sigma}(x') \\C_{\Sigma}(x_n + x') - C_{\Sigma}(x') &= C_{\Sigma}(x_n) + C(x_n)\end{aligned}$$

Результаты и обсуждение

При использовании представленной методики определения затрат на владение и эксплуатацию автомобилей можно определить экономическую эффективность $C_{эф}$ при замене старого автомобиля на новый (8).

$$C_{эф} = C_{1BA}(x) - C_{2BA}(x), \quad (8)$$

где $C_{эф}$ будет положительной только после выполнения условий, которые описываются зависимостями (7), то есть выполняется условие равенства стоимости владения старым и новым автомобилями.

Для апробации разработанной методики были проведены исследования затрат на эксплуатацию легкового автомобиля Тойота Корола Е150 [18]. Согласно полученным данным, были определены зависимости стоимости владения первым автомобилем $C_{1BA}(x)$ и его остаточной стоимости C_{1CA} [1, 19, 20].

$$\begin{aligned}C_{1BA}(x) &= 4,7858x^3 - 42,834x^2 + 353,45x + 16610 \\C_{1CA}(x) &= 19,383x^2 - 1022,3x + 17114\end{aligned}$$

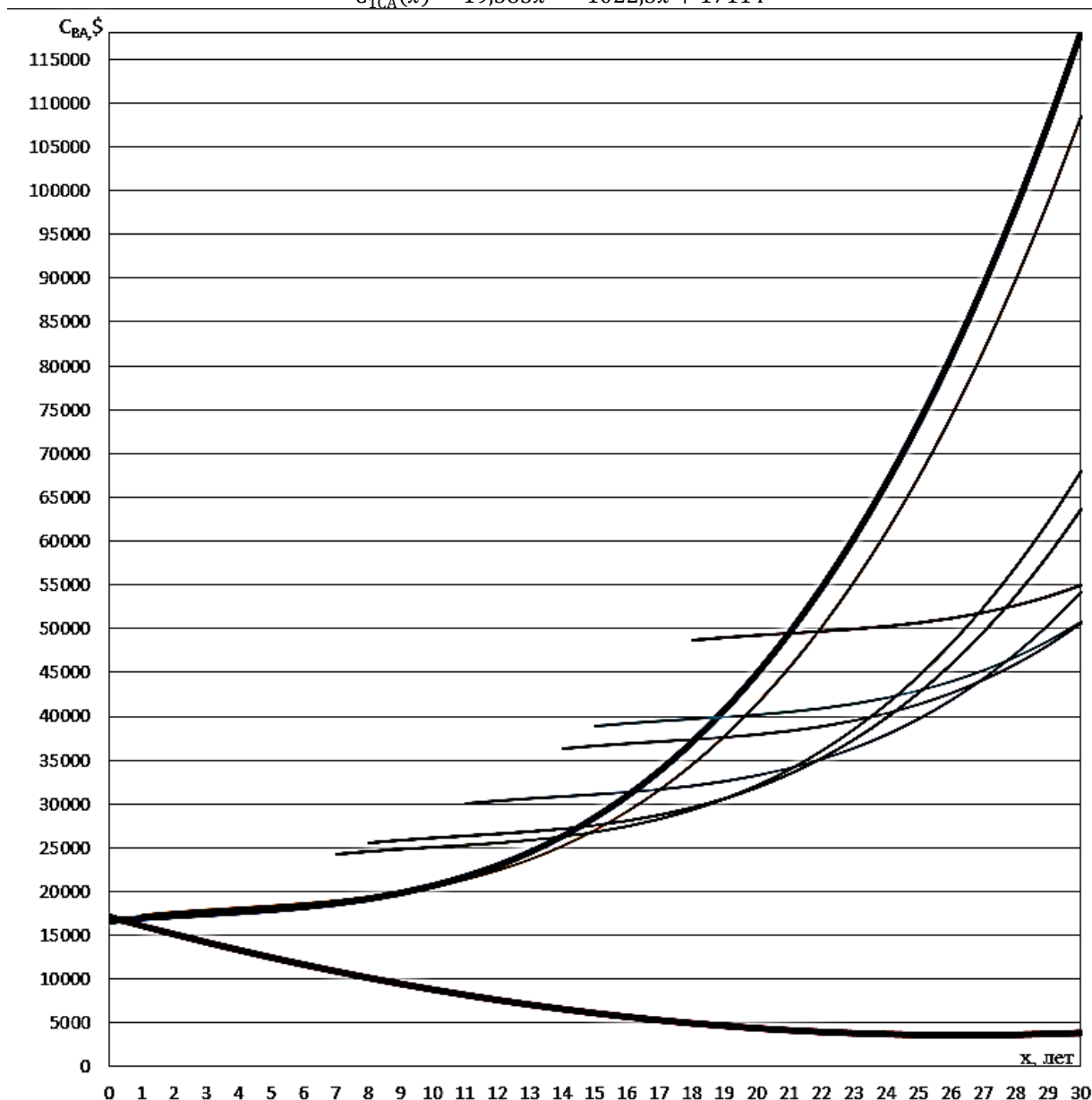


Рисунок 3 – Сравнение затрат на владение $C_{вa}$, с учетом снижения стоимости автомобиля $C_{сa}$, при покупке нового в интервале от одного до восемнадцати лет эксплуатации

Используя полученные уравнения с эксплуатации реальных автомобилей, были проанализированы стоимости владения автомобилями при различной периодичности замены старого автомобиля на новый. На рисунке 3 стоимость владения первым автомобилем $C_{1BA}(x)$ начинается при нулевом пробеге с \$16610, т.е. со стоимости покупки автомобиля Тойота Королла E150. Если владельцем выбрана стратегия эксплуатировать один автомобиль до полного износа, то стоимость владения в этом случае описывается уравнением (7), которое в реальном выражении получено при экспериментальных исследованиях [1]. На графике рисунка 3 это верхняя кривая. При длительной эксплуатации наблюдается экспоненциальное возрастание затрат, которое особенно увеличивается после 12 лет эксплуатации. Избежать увеличения затрат на владение автомобилем можно путем его своевременной замены. Нами проведено сравнение $C_{BA}(x)$ при различных сроках замены в интервале от одного года до восемнадцати лет с интервалом в один год.

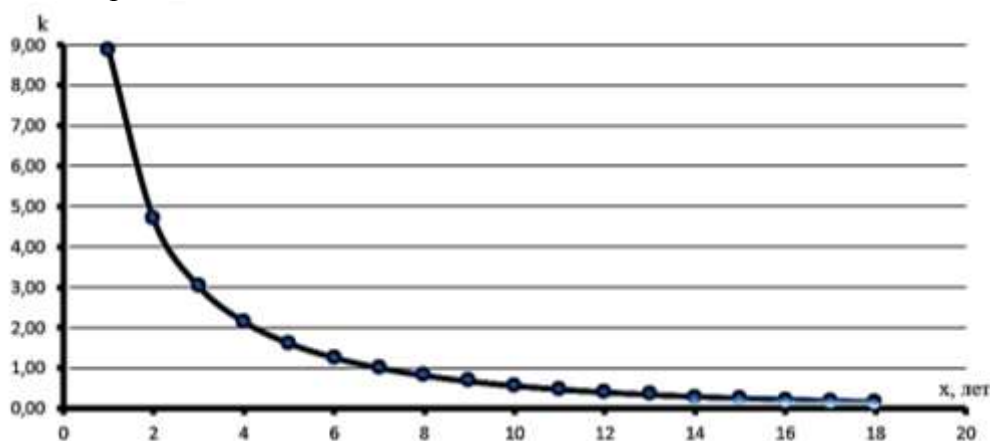


Рисунок 4 – Значение коэффициента $k=x'/x$, показывающего отношение периода эксплуатации нового автомобиля x' , когда стоимость владения C_{BA} выше стоимости владения старым автомобилем, к значению момента покупки нового автомобиля x

Стало очевидным, что слишком ранние покупки нового автомобиля могут быть не оправданны и не эффективны. Был введен коэффициент $k = x'/x$, показывающий отношение периода эксплуатации нового автомобиля x' , когда стоимость владения C_{BA} выше стоимости владения старым автомобилем, к значению момента покупки нового автомобиля x . Только при продаже автомобиля после семи лет эксплуатации этот коэффициент равен единице (рис. 4). Это значит, что семь лет после покупки второго автомобиля стоимость владения ним будет выше, если бы мы оставили и эксплуатировали первый автомобиль с семи до четырнадцати лет. После этого $C_{2BA}(x)$ будет меньше, чем $C_{1BA}(x)$. Очевидно, что значение коэффициента k должно быть меньше единицы.

Этот вывод подтверждает полученная зависимость экономической эффективности $C_{эф}$ на момент замены старого автомобиля новым при замене в интервале от одного до восемнадцати лет эксплуатации (рис. 5). При различных стратегиях замены старого автомобиля новым (через год, два и т.д.) до семи лет эксплуатации они вообще являются убыточными. Владелец может менять автомобиль до семи лет, но это будет экономически не обоснованно и может быть применено в частной эксплуатации, когда $C_{эф}$ не является определяющей.

Деятельность больших автотранспортных предприятий (таксомоторных парков, парков каршеринговых машин и т.д.) основана на получении прибыли от эксплуатации автомобилей и вопрос их экономической эффективности является определяющим. Была рассчитана $C_{эф}$ при заменах автомобиля от одно до восемнадцати лет на момент тридцатилетней эксплуатации (рис. 6). Полученная кривая имеет экстремум, который показывает, что максимальная экономическая эффективность достигается при замене автомобиля через четырнадцать лет эксплуатации (\$67282).

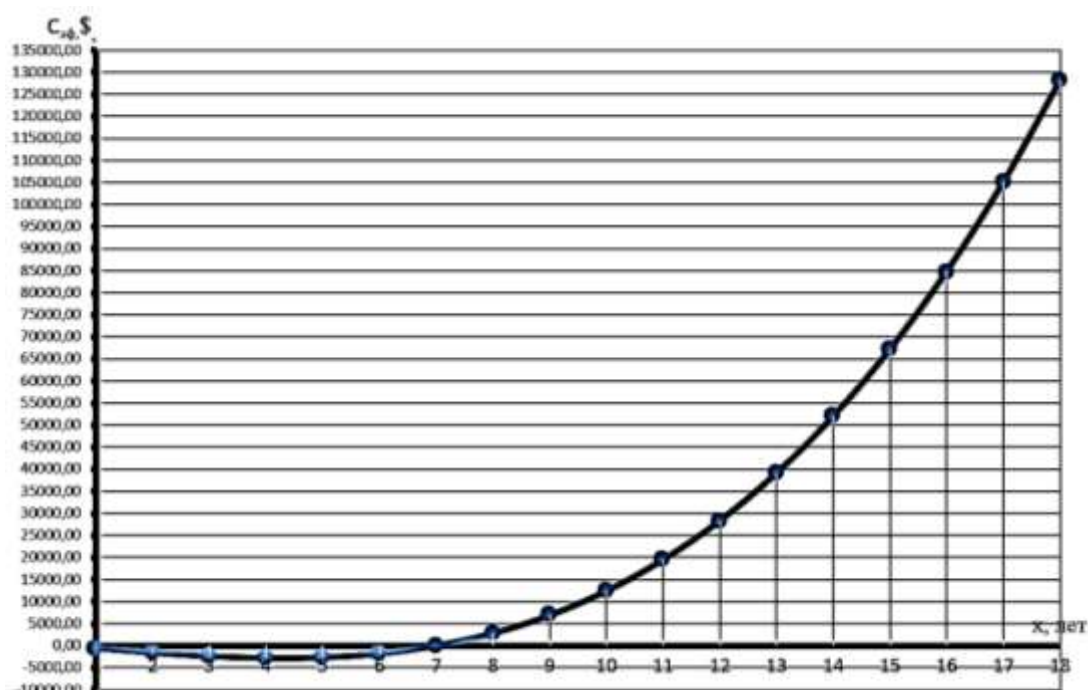


Рисунок 5 – Экономическая эффективность $C_{эф}$ на момент замены старого автомобиля новым при замене в интервале от одного до восемнадцати лет эксплуатации

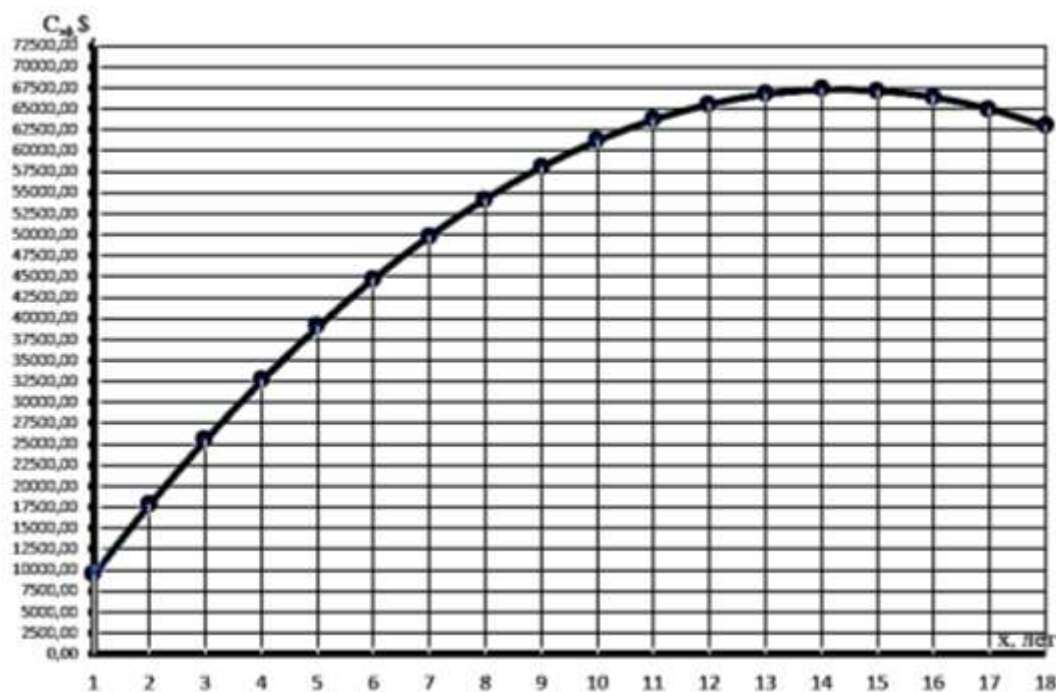


Рисунок 6 – Экономическая эффективность $C_{эф}$ на 30 годах эксплуатации при различных стратегиях замен старого автомобиля новым (в интервале от одного до восемнадцати лет эксплуатации)

Выводы

1. Разработанный подход к оценке суммарных затрат владельца автомобилем с учетом уменьшения его остаточной стоимости и прогнозирование дальнейшего изменения, позволило предложить метод повышения эффективности частной эксплуатации. Построенная математическая модель, позволит определять момент замены автомобиля с учетом сложившихся затрат, на которые влияют конкретные условия эксплуатации, интервалы проведения ТО и Р, интенсивность изменения технического состояния основных узлов и агрегатов, влияющих на экономическую эффективность использования автомобиля.

2. Рассчитать момент продажи автомобиля возможно по разработанной математической модели. Согласно расчетам, продажа исследуемого автомобиля после 14 лет эксплуатации является обоснованной с точки зрения использования ресурса. Замена его на новый той

же марки принесет максимально возможный экономический эффект, который будет увеличиваться с 18 года (с момента начала эксплуатации первого автомобиля).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Замота Т.Н., Аулин В.В., Панайотов К.К. и др. Техничко-экономические аспекты усовершенствования стратегии технического обслуживания и ремонта транспортных средств: Монография. Луганск: Ноулидж, 2022. 328 с.
2. An Analysis of the Operational Costs of Trucking: annual report // American Transportation Research Institute Minneapolis. 2019. 48 p.
3. Askarany D., Yazdifar H., Askary S. Supply chain management, activity-based costing and organisational factors // International Journal of Production Economics 127. 2010. №2. P. 238-248. DOI 10.1016/j.ijpe.2009.08.004.
4. Zhang X.J. Auxiliary signal in fault detection and diagnosis. Berlinete: Springier. Cop., 1989. 12. 213 p.
5. Barnes G., Langworthy P. The Per-Mile Costs of Operating Automobiles and Trucks. Forthcoming report, Minnesota Department of Transportation. 2003.
6. Baykasoglu A., Kaplanoglu V. Application of activity-based costing to a land transportation company: a case study, International Journal of Production Economics 116. 2008. №2. P. 308-324. DOI 10.1016/j.ijpe.2008.08.049.
7. Bokor Z., Cost Drivers in Transport and Logistics // Periodica Polytechnica ser. Transportation Engineering 38. 2010. №1. P. 13-17. DOI 10.3311/pp.tr.2010-1.03.
8. Boving Kn.G. NDT handbook. NDT examination methods for condition monitoring. Tecnish Forland A.S. Danish Technical Press, 1987-1989. 418 p.
9. Bridget N. Bienkowskiand C. Michael Walton. The Economic Efficiency of Allowing Longer Combination Vehicles in Texas. Report №SWUTC/11/476660-00077-12011. 77 p.
10. Elaborating Cost and Performance Management Methods in Transport, Promet // Traffic & Transportation 21. 2009. №3. P. 217-224.
11. Engineering Principles of Agricultural Machines // 2nd Edition Chapter 15. P. 525-552.
12. Ewets Tohn A Pickett, Ronald M. Evaluation of diagnostic systems: Methods from signal detection theory. New York etc: Acad. press, 1982.
13. Fawcett S.E., Cooper M.B. Logistics Performance Measurement and Customer Success, Industrial Market-ing Management 27. 1998. №4. p. 341-357. DOI 10.1016/S0019-8501(97)00078-3.
14. I mplementation of Activity-based Costing in Logistics // Acta Technica Jaurinensis ser. Logistica 2. 2009. №3. P. 337-343.
15. Mitchel John S. An Introduction to Machinery Analisis and Monitoring. Tulsa: Penn Well Books, 1993. 451 p.
16. Nokel Klaus. Temporally distributed symptoms in technical diagnosis. Berlin etc: Springier, 1991.
17. Замота Т.Н., Замота О.Н., Гринько Е.Т. Анализ технико-экономических затрат на эксплуатацию ав-томобиля в пределах жизненного цикла // Вестник ЛГУ им. В. Даля. №7(61). 2022. С. 59-65.
18. Замота Т.Н., Сметана С.А., Замота О.Н., Авдеева Е.Т. Техничко-экономические подходы к усовер-шенствованию системы технического обслуживания и ремонта автобусов // Научный вестник Луганского госу-дарственного аграрного университета. Луганск: ГОУ ВО ЛНР ЛГАУ. 2022. №4(17). С.314-321.
- 19.Замота Т.Н., Замота О.Н., Гринько Е.Т., Лисогор М.А. Техничко-экономический подход к совершен-ствованию системы технического обслуживания и ремонта транспортных средств // Научный вестник Луга-нского государственного аграрного университета. Луганск: ГОУ ВО ЛНР ЛГАУ. 2021. №1(10). С. 211-221.
- 20.Замота Т.Н., Панайотов К.К., Крупица О.В. Усовершенствование системы технического обслужива-ния транспортных средств путем анализа потока отказов и выявления причин их появления // Вестник ЛГУ им. В. Даля. №6(48). 2021. С. 63-68.

Замота Тарас Николаевич

Луганский государственный университет имени Владимира Даля
Адрес: Россия, 291034, г. Луганск, квартал Молодёжный, 20а
Д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Автомобильный транспорт»
E-mail: Zamota71@gmail.com

Замота Оксана Николаевна

Луганский государственный университет имени Владимира Даля
Адрес: 291034, Россия, г. Луганск, квартал Молодёжный, 20а
Старший преподаватель кафедры экономики и управления
E-mail: Zamota71@rambler.ru

Турушина Елена Викторовна

Луганский государственный университет имени Владимира Даля
Адрес: 291034, Россия, г. Луганск, квартал Молодёжный, 20а
Старший преподаватель кафедры «Автомобильный транспорт»
E-mail: turushina.aljona@mail.ru

THE METHODOLOGY FOR CALCULATING THE ECONOMIC EFFICIENCY OF CAR OPERATION WHEN IMPLEMENTING AN INTELLIGENT MAINTENANCE AND REPAIR SYSTEM

Abstract. *The paper theoretically developed and experimentally confirmed a method for calculating the car operation economic efficiency C_{ϕ} with various strategies for replacing an old car with a new one. It is shown that there are time periods when replacing an old car with a new one is not economically justified. According to the results obtained, the replacement of an old car operated in the Luhansk People's Republic becomes economically feasible only after seven years of operation. To get the maximum C_{ϕ} , it will be useful to sell a car at the age of fourteen years. Collecting data on the current operating parameters of the main components and aggregates that affect the economic efficiency of operation, forecasting the dependence of the ownership cost C_{BA} car based on the data obtained, is possible only with the introduction of an intelligent car maintenance system developed by the authors.*

Keywords: *car, operation, economic efficiency, intelligent maintenance system, calculation of operating costs*

BIBLIOGRAPHY

1. Zamota T.N., Aulin V.V., Panayotov K.K. i dr. Tekhniko-ekonomicheskie aspekty usovershenstvovaniya strategii tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta transportnykh sredstv: Monografiya. Lugansk: Noulidzh, 2022. 328 s.
2. An Analysis of the Operational Costs of Trucking: annual report // American Transportation Research Institute Minneapolis. 2019. 48 r.
3. Askarany D., Yazdifar H., Askary S. Supply chain management, activity-based costing and organisational factors // International Journal of Production Economics 127. 2010. №2. R. 238-248. DOI 10.1016/j.ijpe.2009.08.004.
4. Zhang X.J. Auxiliary signal in fault detection and diagnosis. Berlinete: Springer. Cop., 1989. 12. 213 p.
5. Barnes G., Langworthy P. The Per-Mile Costs of Operating Automobiles and Trucks. Forthcoming report, Minnesota Department of Transportation. 2003.
6. Baykasoglu A., Kaplanoglu V. Application of activity-based costing to a land transportation company: a case study, International Journal of Production Economics 116. 2008. №2. R. 308-324. DOI 10.1016/j.ijpe.2008.08.049.
7. Bokor Z., Cost Drivers in Transport and Logistics // Periodica Polytechnica ser. Transportation Engineering 38. 2010. №1. R. 13-17. DOI 10.3311/pp.tr.2010-1.03.
8. Boving Kn.G. NDT handbook. NDT examination methods for condition monitoring. Tecnish Forland A.S. Danish Technical Press, 1987-1989. 418 p.
9. Bridget N. Bienkowskiand C. Michael Walton. The Economic Efficiency of Allowing Longer Combination Vehicles in Texas. Report №SWUTC/11/476660-00077-12011. 77 p.
10. Elaborating Cost and Performance Management Methods in Transport, Promet // Traffic & Transportation 21. 2009. №3. R. 217-224.
11. Engineering Principles of Agricultural Machines // 2nd Edition Chapter 15. R. 525-552.
12. Ewets Tohn A Pickett, Ronald M. Evaluation of diagnostic systems: Methods from signal detection theory. New York etc: Acad. press, 1982.
13. Fawcett S.E., Cooper M.B. Logistics Performance Measurement and Customer Success, Industrial Marketing Management 27. 1998. №4. r. 341-357. DOI 10.1016/S0019-8501(97)00078-3.
14. I mplementation of Activity-based Costing in Logistics // Acta Technica Jaurinensis ser. Logistica 2. 2009. №3. R. 337-343.
15. Mitchel John S. An Introduction to Machinery Analisis and Monitoring. Tulsa: Penn Well Books, 1993. 451 r.
16. Nokel Klaus. Temporally distributed symptoms in technical diagnosis. Berlin etc: Springer, 1991.
17. Zamota T.N., Zamota O.N., Grin'ko E.T. Analiz tekhniko-ekonomicheskikh zatrat na ekspluatatsiyu avtomobilya v predelakh zhiznennogo tsikla // Vestnik LGU im. V. Dalya. №7(61). 2022. C. 59-65.
18. Zamota T.N., Smetana S.A., Zamota O.N., Avdeeva E.T. Tekhniko-ekonomicheskie podkhody k usovershenstvovaniyu sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta avtobusov // Nauchnyy vestnik Luganskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. Lugansk: GOU VO LNR LGAU. 2022. №4(17). S.314-321.
19. Zamota T.N., Zamota O.N., Grin'ko E.T., Lisogor M.A. Tekhniko-ekonomicheskiy podkhod k sovershenstvovaniyu sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta transportnykh sredstv // Nauchnyy vestnik Luganskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. Lugansk: GOU VO LNR LGAU. 2021. №1(10). S. 211-221.
20. Zamota T.N., Panayotov K.K., Krupitsa O.V. Usovershenstvovanie sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya transportnykh sredstv putem analiza potoka otkazov i vvyavleniya prichin ikh poyavleniya // Vestnik LGU im. V. Dalya. №6(48). 2021. C. 63-68.

Zamota Taras Nikolaevich

Lugansk State University

Address: 291034, Russia, Lugansk, Molodezhny block

Doctor of the Technical Sciences

E-mail: Zamota71@gmail.com

Турушина Елена Викторовна

Lugansk State University

Address: 291034, Russia, Lugansk, Molodezhny block

Senior Teacher

E-mail: turushina.aljona@mail.ru

Zamota Oksana Nikolaevna

Lugansk State University

Address: 291034, Russia, Lugansk, Molodezhny block

Senior Teacher

E-mail: Zamota71@rambler.ru

Научная статья

УДК 656:656.225:658.78

doi:10.33979/2073-7432-2024-3-1(86)-131-137

Д.Б. ЕФИМЕНКО, В.А. ДЕМИН, Д.А. КОМКОВА, В.Д. ГЕРАМИ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПОДХОДА ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ПОСТАВОК В ТОРГОВЫЕ СЕТИ

Аннотация. В данной статье рассмотрены проблемы эффективности использования грузовых автотранспортных средств для обеспечения потребностей торговых сетей, которые возникают ввиду изменения потребительских запросов. Авторы рассматривают возможность использования технологии пулинга совместно с мультиагентным подходом, что повысит процент загрузки транспорта, как следствие, сократит транспортные расходы компании и повысит уровень клиентского сервиса торговой сети.

В статье авторы представляют схему проведения эксперимента, определив точки входа и выхода модели, исходные данные и агентов, участвующих в эксперименте. Авторы представляют типовую математическую модель имитационного моделирования, определяя в ней параметры и цели необходимые в рамках разрабатываемого эксперимента. Авторы статьи представляют результаты эксперимента, который был проведен на основе данных торговой сети, в составе которой более двухсот магазинов.

Ключевые слова: пулинг, мультиагентный подход, транспорт, управление транспортно-логистической системой

Введение

Возрастающий дефицит времени населения мегаполиса выражается в необходимости закупать товары народного потребления в удобном формате [1]. В связи с этим активно развиваются сервисы доставки продуктов, готовой еды, а также магазинов формата «магазин у дома». Потребители все чаще отдают предпочтения торговым сетям, которые следят за уровнем клиентского сервиса и постоянно повышают его, поэтому ритейл обращает большое внимание на качество и продукты с высоким остаточным сроком годности. Торговые сети вынуждены проводить работу по многим направлениям, но в части наступает необходимость сокращения MOQ (минимальная партия заказа), что сказывается на работе с производителями [2].

Также, торговые сети находятся в сложном положении из-за дефицита линейного персонала, которые наблюдается последние годы. Так, по данным опроса более 70 % торговых сетей имеют дефицит линейного складского персонала, что отрицательно сказывается на организации работы транспортно-логистической системы ритейлеров в целом.

Нарастающие проблемы стали драйвером для использования технологии пулинга, которая уже активно используется за рубежом, однако в России практикуется относительно недавно, но уже успел обрести популярность [3].

Актуальность данной технологии в перспективе будет только увеличиваться, так как большинство ритейлеров уменьшают размеры партий и увеличивают регулярность поставок. Разница между затратами на классическую сборную доставку и пулингом может достигать от 10 % до 30 %.

Технология пулинга позволяет осуществлять доставку равномерно. Например, до применения технологии пулинга доставка от производителя осуществлялась 1-3 раза в неделю каждого производителя отдельно. В этом случае загрузка транспортного средства не превышала 2/3 объема. Транспортное средство было загружено не полностью.

Внедрение технологии позволяет улучшить эффективность использования грузовиков и частоту доставок.

Алгоритмы планирования и организации работы при использовании технологии пулинга в настоящее время исключают омниканальность, что в свою очередь усложняет процесс оперативного реагирования на изменяющиеся условия доставки груза [4]. Одним из инструментов, который может решить проблему оперативного реагирования на изменения, а также учесть особенности транспортируемого груза является мультиагентный подход [5].

Материал и методы

Транспортно-логистические системы представляют собой сложные системы с высокой степенью неопределенности и динамики. Они характеризуются множеством взаимосвязей и взаимозависимостей, что требует учета множества индивидуальных факторов. Обработка такого объема информации, содержащегося в транспортно-логистических системах, является сложной задачей и может привести к высокой вероятности ошибок.

Стоит отметить, что мультиагентные технологии позволяют создать высокую персонализацию решений – каждого пользователя можно описать через набор соответствующих концептов и отношений. Благодаря этому можно установить специальные цели, предпочтения и ограничения для каждого пользователя, учитывая индивидуальность каждого и принимать решения адресным путем. Такая особенность мультиагентных технологий позволяет эффективнее решать задачи транспортно-логистической системы торговых сетей.

Мультиагентные технологии последнее время получили интенсивное развитие и реализуются на стыке методов искусственного интеллекта, объектно-ориентированного программирования, параллельных вычислений и телекоммуникации.

Мультиагентный подход представляют собой одно из направлений искусственного интеллекта. Данный подход позволяет эффективно решать задачи, связанные с планированием ресурсов в реальном времени, анализа данных при принятии решений, обучения компьютерных систем путем определения предпочтений и построения поведения [6]. Данные задачи имеют место при изучении и проектировании транспортно-логистических систем [7]. В основе мультиагентной технологии лежат агенты. Агентами является некая единица, которая может собирать данные об окружающей среде и самостоятельно принимать решения. Группу агентов, которые взаимодействуют между собой и имеют единую цель, принято называть мультиагентной системой (МАС) [8]. При использовании мультиагентного подхода к перевозке продукции с применением технологии пулинга, что является перспективным направлением. Каждый участник системы будет выступать в роли агента, который реализован и функционирует как самостоятельная единица или элемент искусственного интеллекта [9]. В рамках проводимого исследования агентами были определены:

- 1) поставщик – данный агент формирует заявку на отправку заказа, а также при получении положительного результата связывается с ближайшими поставщиками по вопросу забора товара по пути до терминала транспортной компании [10];
- 2) транспорт – данный агент подбирает транспорт и маршрут для доставки продукции конечному потребителю;
- 3) потребитель – данный агент формирует отчет по результату доставки продукции и документации с поставщиками [11].

Определяя агентов для работы в рамках подхода [12], стоит определить и их основные процессы взаимодействия, представленные в виде алгоритма на рисунке 1.

Теория / Расчет

С учетом особенностей мультиагентного подхода, а также представленного алгоритма проведения эксперимента стоит отметить, что наиболее удобной компьютерной средой для проведения эксперимента будет являться AnyLogic[13]. AnyLogic предлагает 9 вариантов экспериментов, начиная от простого эксперимента, который запускает модель с установленными параметрами без возможности их изменения в процессе эксперимента, и заканчивая нестандартным экспериментом, сценарий которого пользователь может прописать самостоятельно [14].

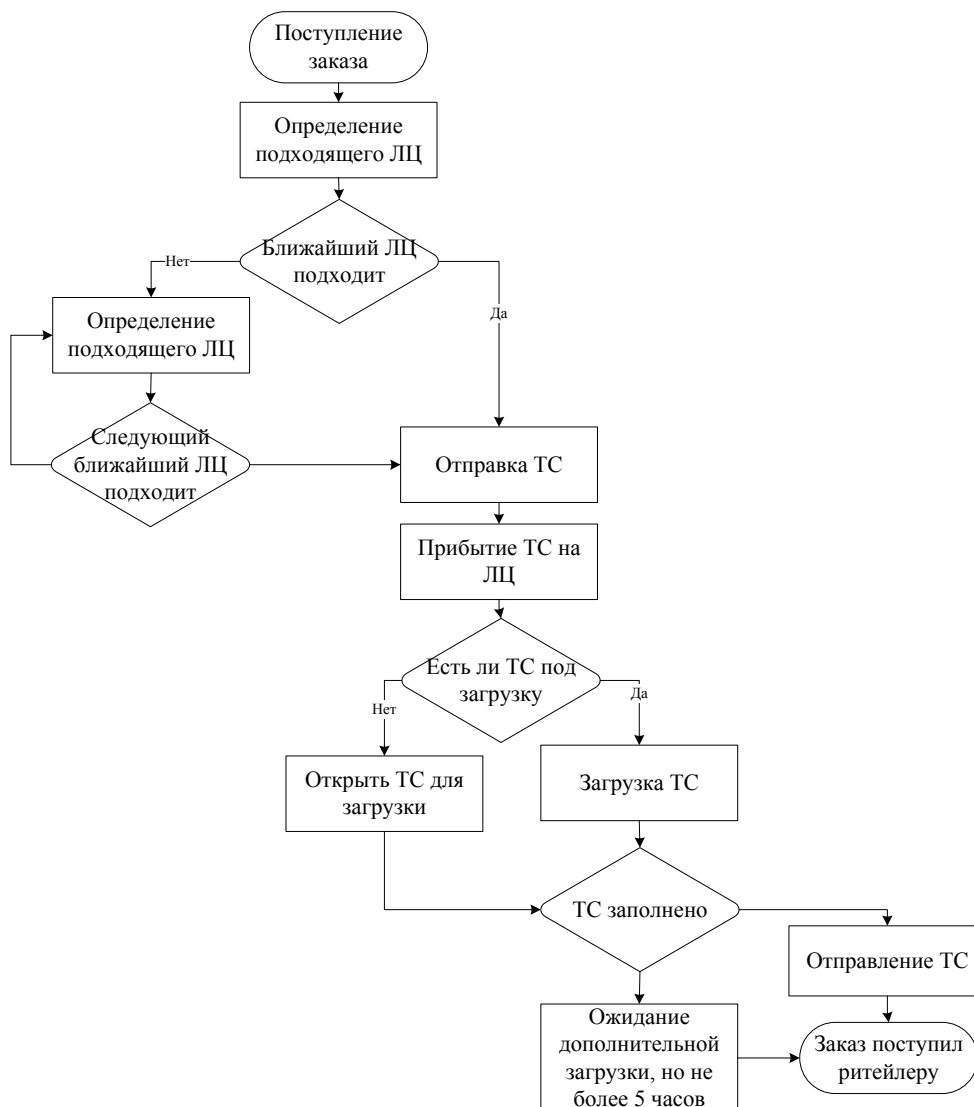


Рисунок 1 – Алгоритм проведения эксперимента

Рассматривая структуру имитационной модели с математической точки зрения [15] ее можно представить в виде формулы 1.

$$E = f(x_i, y_i), \quad (1)$$

где E - результат действия системы;

x_i – управляемые переменные и параметры;

y_j – неуправляемые переменные и параметры;

f - функциональная зависимость между x_i и y_j , которая определяет величину E .

Результатом системы (E) будет являться удельная загрузка ТС при использовании мультиагентной системы и без нее. К управляемым параметрам (x_i), разрабатываемой модели, можно отнести размер заказа, формируемого ритейлером, и периодичность поставок [16]. К неуправляемым параметрам (y_j) стоит отнести время наполняемости ТС [17]. Таким образом, можно описать общее представление имитационной модели для эксперимента.

Эксперимент был проведен на основании данных ритейлера, который включает в свою сеть более двухсот магазинов на территории Татарстана и Башкирии. Сеть является дискаунтером, поэтому имеет высокие требования к сокращению добавленной стоимости, чтобы удовлетворить потребности своих клиентов [18]. На рисунке 2 представлены приходы продукции на РЦ торговой сети.

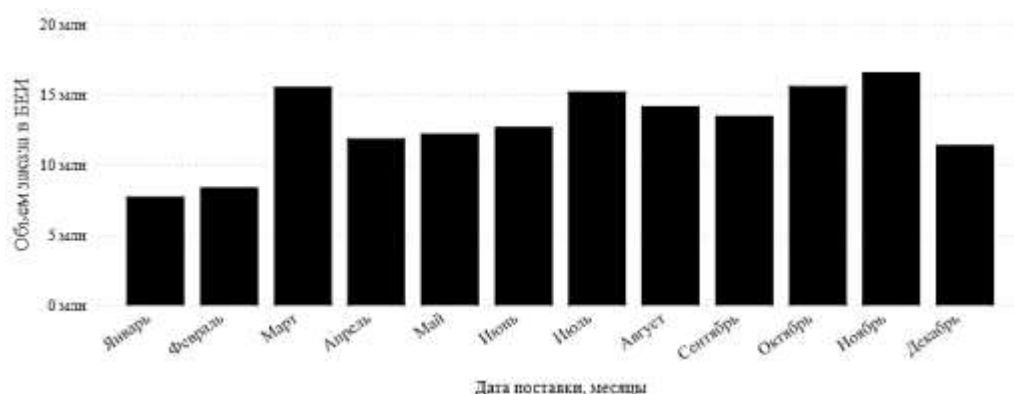


Рисунок 2 – Размеры поставок товаров на РЦ

Данный график отражает общий размер поставок в базовых единицах измерения (БЕИ), в которых ведется учет в компании. Согласно данному графику можно проследить неравномерность поставок в течение года. Также при формировании исходных данных стоит отметить широкую географию поставщиков, представленную на рисунке 3.



Рисунок 3 – География поставщиков РЦ

На рисунке 3 помимо местоположения поставщиков, можно отметить размеры отгрузок по каждому поставщику, работающему с торговой сетью. Благодаря представленным данным можно сформировать информацию, которая будет попадать в точку входа имитационной модели [19].

Результат и обсуждение

В рамках эксперимента была выполнено 2 прогона модели: первый – без использования МАС и складов консолидации заказов, второй – с использованием МАС и складов консолидации. Результаты средней загрузки транспортных средств по месяцам представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты коэффициента загрузки ТС по месяцам

Период	Стандартная загрузка	Загрузка с использованием МАС
Январь	0,54	0,77
Февраль	0,54	0,78
Март	0,59	0,84
Апрель	0,54	0,82
Май	0,53	0,82
Июнь	0,53	0,81
Июль	0,54	0,83
Август	0,52	0,83
Сентябрь	0,52	0,83
Октябрь	0,53	0,83
Ноябрь	0,56	0,85
Декабрь	0,56	0,81

Как видно из данных таблицы 1 средний коэффициент загрузки транспортного сред-

ства при стандартной загрузке не превышает 60 % и варьируется на уровне 55 %. Ситуация меняется в положительном ключе при использовании мультиагентных технологий. В этом случае верхним показателем уже будет 85 % загрузки транспортного средства, что свидетельствует о целесообразности использования мультиагентных технологий в управлении материальными и транспортными потоками торговых сетей.

Выводы

Транспортно-логистические системы требуют постоянного совершенствования из-за своего динамического развития. Внедрение современных технологий и подходов неизбежно, в связи с этим стоит рассмотреть планирование загрузки транспортных средств по средствам применения мультиагентного подхода [20]. Как показывает эксперимент, проведенный на основе имитационной модели, применение мультиагентного подхода позволит повысить эффективность загрузки транспортных средств не менее чем 15 %, что несомненно скажется не только на транспортных затратах торговых сетей, но и повысит уровень клиентского сервиса, за которым следит каждый ритейлер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демин В.А. Актуальные задачи развития транспортно-логистических систем // Мир транспорта. 2018. №6(79). С. 14-19.
2. Demin V.A., Efimenko D.B., Komkova D.A., Rogov V.R., Blinov D.V. Systems of signals generating and processing in the field of on board communications. SOSG. Moscow: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021. №9416077. DOI: 10.1109/IEEECONF51389.2021.9416077.
3. Пестерев П.В. Алгоритм поиска информации поисковой системой предприятия на основе мультиагентной системы // Информационные технологии в науке и производстве: материалы V Всероссийской молодежной научно-технической конференции. Омск: Омский государственный технический университет. 2018. С. 198-206. EDN XPDOIH.
4. Брянцева К.П. Имитационное моделирование мультиагентных систем на примере инновационной системы Самарской области / Под редакцией Е.А. Федосова, Н.А. Кузнецова, С.Ю. Боровика // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XX Международной конференции. Самара: Общество с ограниченной ответственностью «Офорт». 2018. С. 321-326. EDN XZFRPV.
5. Мосьпан Т.Д. Прикладная математика // Современные проблемы математики, информатики и моделирования: Материалы II всероссийской научно-практической конференции. Краснодар. 2020. С. 83-89.
6. Искандеров Ю.М. Применение интеллектуальных агентов при моделировании интегрированной информационной системы транспортной логистики // Информатизация и связь. 2020. №5. С. 59-66. DOI 10.34219/2078-8320-2020-11-5-59-66.
7. Макарова Е.А., Павлова А.Н., Солнцев О.В. Программное обеспечение системы имитационного мультиагентного моделирования функционирования многоотраслевого производственного комплекса // Управление экономикой: методы, модели, технологии: материалы XIX Международной научной конференции. Уфа-Павловка: Уфимский государственный авиационный технический университет. 2019. С. 286-289. EDN IKTBUH.
8. Собин С.А. Использование мультиагентных систем в деятельности консолидационного центра // Актуальные проблемы и перспективы развития экономики: российский и зарубежный опыт. 2021. №3(35). С. 78-82. EDN QMPFDM.
9. Cheng-Chang Lin, Dung-Ying Lin, Melanie M. Young. Price planning for time-definite less-than-truckload freight services // Transportation Research. Part E. 2006. Vol. 45. P. 525-537.
10. Соболин В.Н., Мухитов Э.И. Системы искусственного интеллекта в логистике и мультиагентный подход // Балтийский морской форум: материалы VI Международного Балтийского морского форума. В 6 томах. Том 6. Калининград: Обособленное структурное подразделение «Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота» ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет». 2018. С. 308-313. EDN VQSDUG.
11. Тазюков Н.И., Семькин А.О., Суетина Т.А. Использование имитационного моделирования в логистике и моделировании цепей поставок // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности : сборник научных статей по итогам двенадцатой международной научной конференции. Часть 2. Казань: ООО «Конверт». 2020. С. 15-17. EDN PCDSFR.
12. Фялковский Е.Е. Использование имитационного моделирования для решения задач реинжиниринга бизнес-процессов в среде моделирования Anylogic // Прикладная математика и фундаментальная информатика. 2021. Т. 8. №1. С. 67-75. DOI 10.25206/2311-4908-2021-8-1-67-75. EDN JBJOYY.
13. Рахманов Д.О., Хакдодов А.М. Агентное моделирование - парадигма имитационного моделирования: преимущества, инструменты и применение // Управление информационными ресурсами: материалы XVIII Международной научно-практической конференции. Минск: Академия управления при Президенте Республики Беларусь. 2022. С. 317-319. EDN HAAIVQ.

14. Фролова О.Н., Тибалова С.О. Система управления в транспортно-логистической системе // Логистические системы в глобальной экономике. 2016. №6. С. 342-346.

15. Демин В.А., Ойрих С., Ефименко Д.Б. Модель определения оптимальных траекторий перемещения партий грузов // Мир транспорта. 2019. Т. 17. №2(81). С. 56-62. DOI 10.30932/1992-3252-2019-17-2-56-62. EDN EYPZAA.

16. Интеллектуальный структурно-параметрический синтез имитационных моделей и бизнес-процессов / Д.А. Петросов, М.В. Коротеев, Н.А. Андриянов, В.Е. Косарев. Москва: ООО «Русайнс», 2024. 100 с. EDN BDNOLM.

17. Астраханцева И.А., Бобков С.П. Моделирование систем. ООО «Научно-издательский центр Инфра-М», 2023. 216 с. DOI 10.12737/1831624. EDN PQUYBI.

18. Чернышев Ю.О., Кубил В.Н. Обзор динамических задач маршрутизации транспорта // Программные продукты и системы. 2020. №3. С. 491-501.

19. Дюкалов Е.А. Основные тенденции развития рынка ритейла // Студенческий. 2019. №17-1(61). С. 62-66.

20. Как торговым сетям и производителям выстраивать отношения [Электронный ресурс]. URL: <https://pro.rbc.ru/demo/5dee62329a794753b24788e2>.

Ефименко Дмитрий Борисович

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

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

Д.т.н., профессор, заведующий кафедрой правовое и таможенное регулирование на транспорте

E-mail: ed2002@mail.ru

Демин Василий Александрович

ООО «Координационный совет по логистике»

Адрес: 125319, Россия, Москва, Ленинградский пр., 39 стр. 14

Д.т.н., доцент, исполнительный директор

E-mail: logist3@yandex.ru

Комкова Дарья Андреевна

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

Россия, 125319, Россия, Москва, Ленинградский пр., 64

Старший преподаватель кафедры логистики

E-mail: komkova_da@madi.ru

Дарабовна Герами Виктория

НИУ ВШЭ

Адрес: 119049, Россия, Москва, ул. Шаболовка, 26 стр. 3

Д.т.н., профессор

E-mail: v_gerami@mail.ru

D.B. EFIMENKO, V.A. DEMIN, D. A. KOMKOVA, V.D. GERAMI

THE USE OF A MULTI-AGENT APPROACH IN THE ORGANIZATION OF SUPPLIES TO RETAIL

Abstract. This article discusses the problems of loading vehicles of retail chains that arise due to changes in consumer demands. The authors consider the possibility of using pooling technology in conjunction with a multi-agent approach, which will increase the percentage of transport load, as a result, reduce the company's transportation costs and increase the level of customer service of the retail network.

In the article, the authors present the scheme of the experiment, defining the entry and exit points of the model, the initial data and the agents involved in the experiment. The authors present a typical mathematical model of simulation modeling, defining in it the parameters and goals necessary within the framework of the experiment being developed. The authors of the article present the results of an experiment that was conducted based on data from a retail chain with more than two hundred stores.

Keywords: pooling, multi-agent approach, transport, management of the transport and logistics system

BIBLIOGRAPHY

1. Demin V.A. Aktual'nye zadachi razvitiya transportno-logisticheskikh sistem // Mir transporta. 2018. №6(79). S. 14-19.

2. Demin V.A., Efimenko D.B., Komkova D.A., Rogov V.R., Blinov D.V. Systems of signals generating and pro-

- cessing in the field of on board communications. SOSG. Moscow: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021. №9416077. DOI: 10.1109/IEEECONF51389.2021.9416077.
3. Pesterev P.V. Algoritm poiska informatsii poiskovoy sistemy predpriyatiya na osnove mul'tiagentnoy sistemy // Informatsionnye tekhnologii v nauke i proizvodstve: materialy V Vserossiyskoy molodezhnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Omsk: Omskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet. 2018. S. 198-206. EDN XPDOIH.
 4. Bryantseva K.P. Imitatsionnoe modelirovanie mul'tiagentnykh sistem na primere innovatsionnoy sistemy Samarskoy oblasti / Pod redaktsiei E.A. Fedosova, N.A. Kuznetsova, S.YU. Borovika // Problemy upravleniya i modelirovaniya v slozhnykh sistemakh: Trudy XX Mezhdunarodnoy konferentsii. Samara: Obshchestvo s ogranichennoy otvetstvennost'yu «Ofort». 2018. S. 321-326. EDN XZFRPV.
 5. Mos'pan T.D. Prikladnaya matematika // Sovremennye problemy matematiki, informatiki i modelirovaniya: Materialy II vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Krasnodar. 2020. S. 83-89.
 6. Iskanderov YU.M. Primenenie intellektual'nykh agentov pri modelirovanii integrirovannoy informatsionnoy sistemy transportnoy logistiki // Informatizatsiya i svyaz'. 2020. №5. S. 59-66. DOI 10.34219/2078-8320-2020-11-5-59-66.
 7. Makarova E.A., Pavlova A.N., Solntsev O.V. Programmnoe obespechenie sistemy imitatsionnogo mul'tiagentnogo modelirovaniya funktsionirovaniya mnogootraslevogo proizvodstvennogo kompleksa // Upravlenie ekonomikoy: metody, modeli, tekhnologii: materialy XIX Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. Ufa-Pavlovka: Ufimskiy gosudarstvennyy aviatsionnyy tekhnicheskii universitet. 2019. S. 286-289. EDN IKTBUEH.
 8. Sobin S.A. Ispol'zovanie mul'tiagentnykh sistem v deyatelnosti konsolidatsionnogo tsentra // Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya ekonomiki: rossiyskiy i zarubezhnyy opyt. 2021. №3(35). S. 78-82. EDN QMPFDM.
 9. Cheng-Chang Lin, Dung-Ying Lin, Melanie M. Young. Price planning for timedefinite less-than-truckload freight services // Transportation Research. Part E. 2006. Vol. 45. R. 525-537.
 10. Sobolin V.N., Mukhitov E.I. Sistemy iskusstvennogo intellekta v logistike i mul'tiagentnyy podkhod // Baltiyskiy morskoy forum: materialy VI Mezhdunarodnogo Baltiyskogo morskogo foruma. V 6 to-makh. Tom 6. Kaliningrad: Obosoblennoe strukturnoe podrazdelenie «Baltiyskaya gosudarstvennaya akademiya rybopromyslovogo flota» FGBOU VPO «Kaliningradskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet». 2018. S. 308-313. EDN VQSDUG.
 11. Tazyukov N.I., Semykin A.O., Suetina T.A. Ispol'zovanie imitatsionnogo modelirovaniya v logistike i modelirovanii tsepey postavok // Prioritetnye napravleniya innovatsionnoy deyatelnosti v promyshlennosti: sbornik nauchnykh statey po itogam dvenadtsatoy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. Chast' 2. Kazan': OOO «Konvert». 2020. S. 15-17. EDN PCDSFR.
 12. Fyalkovskiy E.E. Ispol'zovanie imitatsionnogo modelirovaniya dlya resheniya zadach reinzhiniringa biznes-protsessov v srede modelirovaniya Anylogic // Prikladnaya matematika i fundamental'naya informatika. 2021. T. 8. №1. S. 67-75. DOI 10.25206/2311-4908-2021-8-1-67-75. EDN JBJOYY.
 13. Rakhmanov D.O., Hakdodov A.M. Agentnoe modelirovanie - paradigma imitatsionnogo modelirovaniya: preimushchestva, instrumenty i primeneniye // Upravlenie informatsionnymi resursami: materialy XVIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Minsk: Akademiya upravleniya pri Prezidente Respubliki Belarus'. 2022. S. 317-319. EDN HAAIVQ.
 14. Frolova O.N., Tibalova S.O. Sistema upravleniya v transportno-logisticheskoy sisteme // Logisticheskie sistemy v global'noy ekonomike. 2016. №6. S. 342-346.
 15. Demin V.A., Oyrikh S., Efimenko D.B. Model' opredeleniya optimal'nykh traektoriy peremeshcheniya partiy gruzov // Mir transporta. 2019. T. 17. №2(81). S. 56-62. DOI 10.30932/1992-3252-2019-17-2-56-62. EDN EYPZAA.
 16. Intellektual'nyy strukturno-parametricheskii sintez imitatsionnykh modeley i biznes-protsessov / D.A. Petrosov, M.V. Koroteev, N.A. Andriyanov, V.E. Kosarev. Moskva: OOO «Rusayns», 2024. 100 s. EDN BDNOLM.
 17. Astrakhantseva I.A., Bobkov S.P. Modelirovanie sistem. OOO «Nauchno-izdatel'skiy tsentr Infra-M», 2023. 216 s. DOI 10.12737/1831624. EDN PQUYBI.
 18. Chernyshev YU.O., Kubil V.N. Obzor dinamicheskikh zadach marshrutizatsii transporta // Programmnye produkty i sistemy. 2020. №3. S. 491-501.
 19. Dyukalov E.A. Osnovnye tendentsii razvitiya rynka riteyla // Studencheskiy. 2019. №17-1(61). S. 62-66.
 20. Kak trgovym setyam i proizvoditelyam vystraivat' otnosheniya [Elektronnyy resurs]. URL: <https://pro.rbc.ru/demo/5dee62329a794753b24788e2>.

Efimenko Dmitry Borisovich

Moscow Automobile and Road Construction State
Technical University
Adress: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky ave., 64
Doctor of Technical Sciences
E-mail: ed2002@mail.ru

Demin Vasily Alexandrovich

Coordinating Council for Logistics LLC
Adress: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky ave.
Doctor of Technical Sciences
E-mail: logist3@yandex.ru

Komkova Daria Andreevna

Moscow Automobile and Road Construction State
Technical University
Adress: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky ave., 64
Senior Lecturer
E-mail: komkova_da@madi.ru

Darabovna Gerami Victoria

Higher School of Economics
Adress: 119049, Russia, Moscow, Shabolovka str., 26
Doctor of Technical Sciences
E-mail: v_gerami@mail.ru

Научная статья

УДК 656.025

doi:10.33979/2073-7432-2024-3-1(86)-138-146

С.Н. ГЛАГОЛЕВ, И.А. НОВИКОВ, Ю.Н. РИЗАЕВА, А.С. ЛУКИНОВ

МОДЕЛЬ ГИБКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТОМ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

Аннотация. Авторами изучен механизм существующей контрактной системы перевозок пассажиров по муниципальным маршрутам регулярных перевозок по регулируемым тарифам и предложена новая модель гибкого управления транспортом общего пользования, включающая недостатки существующей модели управления перевозками.

Ключевые слова: управление пассажирскими перевозками, организация пассажирских перевозок, цифровизация, автомобильный транспорт

Введение

Указом Президента Российской Федерации от 07.05.2024 № 309 [1] Правительству Российской Федерации до 01.09.2024 поручено разработать национальный проект «Эффективная транспортная система», при этом одной из целевых задач в рамках цифровой трансформации государственного и муниципального управления является создание модели управления на основе данных с учётом ускоренного внедрения технологий обработки больших объёмов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта.

Управление пассажирскими перевозками – одна из ключевых функций органов власти и органов местного самоуправления, от эффективности выполнения которой зависит развитие экономики страны и благополучие граждан.

Материал и методы

Эффективность пассажирской транспортной системы, главным образом, оценивается степенью соответствия транспортного спроса транспортному предложению:

$$\frac{T_c}{T_n} \rightarrow 1, \quad (1)$$

где T_c – транспортный спрос;

T_n – транспортное предложение.

Говоря о первичности спроса или предложения в вопросах организации транспортного обслуживания населения следует обратиться к истории возникновения транспорта общего пользования. Первое упоминание о начале работы общественного транспорта в мировой истории связано с французским философом Блезом Паскалем. Он обратился в мэрию Парижа с предложением «Организовать в Париже регулярное движение общедоступных пассажирских карет по заранее объявленным маршрутам и расписаниям, с единым тарифом в 5 су» [2].

Необходимо обратить внимание на первую сформулированную идею общественного транспорта: поскольку все горожане платят налоги, идущие на развитие города, то каждый горожанин имеет одинаковую ценность времени. И если человек не может позволить себе частного извозчика или личный транспорт, то это не значит, что он должен перемещаться пешком и тратить на перемещение по городу больше времени, а должен иметь возможность быстро передвигаться по городу по доступной цене и сохранять своё время для прочей деятельности. В данном периоде истории (Франция, 1662 год) однозначно прослеживается первостепенность спроса на общедоступные регулярные пассажирские перевозки.

Следующее упоминание общественного транспорта в мировой истории приходится на 1826 год. Во французском городе Нанте отставной офицер и предприниматель Станислас Бодри содержал мельницу и баню далеко от центра города, и для повышения числа посетителей бани он организовал подвозной маршрут.

Вскоре он выяснил, что многие пассажиры выходят, не доезжая бани, т.е. его карета уже выполняла не вспомогательную функцию, а обладала самостоятельной ценностью. Бодри понял эффективность таких перевозок и организовал движение своих карет по определённому маршруту и расписанию. Многоместные кареты тогда получили название омнибус, что в переводе с латинского означает «для всех» [2].

В данном историческом эпизоде первично было предложение, т.е. предприниматель предложил людям ехать до бани на его карете, но люди дополнили это предложение своим спросом на промежуточные остановки. Безусловно, спрос существовал и до того, как Станислас Бодри запустил подвозной маршрут до своей бани, тем не менее выявление этого спроса для организатора перевозок случилось после появления предложения.

Теория / Расчет

Современная модель транспортного спроса и предложения имеет гораздо более сложную структуру, но проанализировав первые простые транспортные системы следует отметить как аксиому первичность транспортного спроса над транспортным предложением и существование скрытого спроса, выявляемого эмпирическим путём после появления первого предложения [3, 4].

Для построения эффективной пассажирской транспортной системы в условиях динамичного транспортного спроса необходимо динамичное транспортное предложение, способное к прогнозированию и адаптивированию под фактическую потребность.

В настоящее время при организации транспортного обслуживания анализируется только открытый спрос (данные о фактическом пассажиропотоке, наполняемости транспортных средств, поступающие от граждан жалобы и предложения и т.п.) и обеспечивается работа транспорта общего пользования в строгом соответствии с требованиями действующего законодательства.

С 13.07.2015 года вступил в силу Федеральный закон [5], регулирующий отношения в сфере организации пассажирских перевозок автомобильным и городским наземным электрическим транспортом. В соответствии с положениями указанного закона в переходный период до 13.07.2022 года большинство городов России при организации перевозок по регулируемым тарифам осуществили переход на контрактную систему пассажирских перевозок в соответствии с Федеральным законом о контрактной системе [6].

Система управления регулярными пассажирскими перевозками по регулируемым тарифам в соответствии с [6] на сегодняшний день имеет следующие особенности (рис. 1).



Рисунок 1 - Особенности системы управления регулярными пассажирскими перевозками по регулируемым тарифам

Таким образом, действующая модель управления пассажирским перевозками, даже в наиболее «продвинутом» варианте брутто-контрактов, построена исключительно на выполнении заложенного в контракте объёма транспортной работы, изменение которого в значительной степени ограничено.

По практике организации транспортного обслуживания в городе Липецке, исходя из нетто-контрактов, следует отметить несколько примеров, демонстрирующих сложности в системе управления пассажирскими перевозками. В 2024 году начались работы по реконструкции моста по ул. Советская с полным перекрытием движения через данный участок.

Для организации движения личного автотранспорта и транспорта общего пользования были установлены временные схемы.

Расторжение действующих муниципальных контрактов на пассажирские перевозки недопустимо в связи с наличием устойчивого, ярко выраженного маятникового движения через данный участок, а изменение параметров маршрутов, в том числе схемы маршрутов, согласно [6] допускается только при изменении общего пробега не более чем на 10 %.



Рисунок 2 – Среднее количество транзакций по данным автоматизированной системы безналичной оплаты проезда в течение рабочего дня по всем автобусным муниципальным маршрутам регулярных перевозок г. Липецка

Данное условие оказалось невыполнимым для ряда маршрутов, протяжённость которых при объезде перекрытого на реконструкцию участка становилась либо существенно больше, либо существенно меньше плановой протяжённости, заложенной в муниципальном контракте. Предусмотреть заблаговременно дату перекрытия и дату открытия движения через перекрытый на реконструкцию мост не представляется возможным поскольку контракты на выполнение перевозок заключались до возникновения проекта реконструкции моста и начала планирования строительно-монтажных работ. Таким образом, предусмотреть на этапе расчёта планового пробега все возможные перекрытия улично-дорожной сети, в том числе вызванные проведением аварийных работ, в период действия контракта на перевозки объективно не представляется возможным.

Исходя из этого, имея долгосрочный контракт на перевозку, перевозчик несёт постоянные риски возникновения дополнительного пробега, который не будет оплачен из бюджета, а организатор перевозок несёт риски получения отказа от обслуживания маршрута, не говоря о неэффективности использования бюджетных средств, которые будут заняты бюджетными обязательствами под конкретный контракт, но не будут израсходованы в связи с непредвиденным уменьшением планового пробега.

На вышеуказанные обстоятельства накладываются также и прочие факторы, влияющие на возможность перевозчика исполнять условия контракта: дефицит водителей, инфляция, резкое подорожание топлива и запасных частей, внешнее санкционное давление на производителей автобусов, поломки заправочных и газонаполнительных станций и т.п.

В качестве примера степени важности проблемы дефицита водительских кадров можно отметить показатели обслуживания муниципального маршрута № 302, который впоследствии прекратил свою работу.



Рисунок 3 – Комбинированная диаграмма еженедельного фактического пробега и количества перевезённых пассажиров по маршруту № 302

Вместе с тем, к примеру, можно наблюдать устойчивую работу на другом муниципальном маршруте № 315, на котором средний интервал движения составляет 5 минут, и при оценке наполняемости становится актуальным вопрос о сокращении планового выпуска.



Рисунок 4 – Комбинированная диаграмма еженедельного фактического пробега и количества перевезённых пассажиров по маршруту № 315

Вышеуказанные маршруты № 302 и № 315 обслуживаются разными перевозчиками и по разным муниципальным контрактам, в связи с чем у организатора перевозок отсутствуют правовые основания для оперативного переключения автобуса с перенасыщенного участка на остро востребованный в данный момент времени. Данная проблема в существующей модели управления пассажирским перевозками решается только путём заключения нового муниципального контракта (в течение порядка 30 дней и при наличии потенциальных участников закупки) либо путём внесения изменений в другие контракты с корректировкой схем маршрутов и плановых пробегов в пределах 10%, что в свою очередь влечёт ослабление транспортных связей в других районах города.

Результаты и обсуждение

Отсутствие привязки перевозчика и его транспортных средств к конкретному маршруту в рамках муниципального контракта позволило бы решить обозначенную проблему. Однако данное предложение влечёт за собой пересмотр всей существующей структуры правовых отношений между организатором перевозок, пассажиром и перевозчиком.

Таблица 1 – Сравнение ключевых особенностей существующей и предлагаемой контрактной системы пассажирских перевозок

№	Существующая контрактная система	Предлагаемая контрактная система
1	Оплата по цене 1 км пробега	Оплата по цене 1 км пробега для переменных эксплуатационных расходов и по цене 1 машино-часа для постоянных расходов
2	Перевозчики закреплены за конкретными маршрутами	Перевозчики не закреплены за конкретными маршрутами, а заключают контракт только на обеспечение выхода водителя и транспортного средства на линию. Единая диспетчерская служба перераспределяет транспортные средства между маршрутами в соответствии с существующей потребностью
3	Водители уходят туда, где платят больше	Водители получают заработную плату независимо от того, на каком маршруте они работали, а за отработанное количество часов
4	Изменение параметров маршрутной сети в пределах 10%	Изменение параметров маршрутной сети проходит по мере необходимости после анализа данных и экспертизы без формальных ограничений
5	Правоотношения возникают между заказчиком и перевозчиком, а также между перевозчиком и пассажиром. Правоотношения между заказчиком и пассажиром отсутствуют	Заказчики в лице органов власти и органов местного самоуправления предоставляют гражданам публичную оферту, акцептуемую в момент прихода на остановку. Правоотношения возникают между заказчиком, перевозчиком и пассажиром

В основе предлагаемой контрактной системы пассажирских перевозок находится принцип гибкого управления транспортом общего пользования. Динамичное управление перевозками для удовлетворения изменяющегося транспортного спроса, в том числе путём внедрения интеллектуальных систем оптимизации расписаний движения, возможно только

при наличии оперативного управления подвижным составом без изначальной привязки к какому-либо маршруту.

Подобная модель реализуема при заключении контрактов между организатором перевозок и перевозчиками с концептуально новыми условиями: фиксируется только цена единицы транспортной работы (цена 1 км пробега для переменных эксплуатационных расходов и цена 1 машино-часа для постоянных расходов), требования по обеспечению безопасности дорожного движения (предрейсовые медицинские осмотры, технические осмотры, инструктажи водителей, контроль за соблюдением режима труда и отдыха водителей и т.п.), ежедневный плановый выпуск транспортных средств на линию и сменность работы водителей, при этом маршрут и расписание движения не фиксируются в контракте, а определяются в ходе оперативного управления организатором перевозок и его диспетчерской службой. Расчёт оплаты фактически оказанных услуг по перевозке пассажиров предлагается осуществлять по следующей формуле:

$$\Pi = \sum (C_{ij}^{km} \cdot L_{ij}^{\phi}) + \sum (C_{ij}^{\tau} \cdot \tau_{ij}^{\phi}), \quad (2)$$

где C_{ij}^{km} – стоимость 1 км пробега транспортного средства i -го вида и j -го класса, применяемая независимо от обслуживаемого маршрута, включающая в себя зависящие от пробега переменные расходы перевозчика, устанавливаемая нормативным правовым актом органа исполнительной власти с периодичностью не реже 1 раза в год с учётом изменений конъюнктуры рынка и макроэкономических показателей, руб./км;

L_{ij}^{ϕ} – фактический линейный пробег транспортных средств i -го вида и j -го класса за отчётный период, подтверждённый навигационными данными в диспетчерской службе организатора перевозок, км;

C_{ij}^{τ} – стоимость 1 часа работы транспортного средства i -го вида и j -го класса, применяемая независимо от обслуживаемого маршрута, включающая в себя независимые от пробега постоянные расходы перевозчика, устанавливаемая нормативным правовым актом органа исполнительной власти с периодичностью не реже 1 раза в год с учётом изменений конъюнктуры рынка и макроэкономических показателей, руб./час;

τ_{ij}^{ϕ} – фактическое количество часов работы транспортных средств i -го вида и j -го класса за отчётный период, подтверждённое диспетчерской службой организатора перевозок, час.

Стоимость 1 км пробега транспортного средства i -го вида и j -го класса предлагается определять как отношение общей суммы плановых зависящих от пробега эксплуатационных расходов по всем транспортным средствам данного вида и класса, задействованным в обслуживании маршрутной сети, к общему плановому пробегу транспортных средств i -го вида и j -го класса за выбранный период на основании утверждённых параметров маршрутной сети.

Стоимость 1 часа работы транспортного средства i -го вида и j -го класса предлагается определять как отношение общей суммы плановых независимых от пробега расходов по всем транспортным средствам данного вида и класса, задействованным в обслуживании маршрутной сети, к общему количеству часов работы транспортных средств i -го вида и j -го класса за выбранный период на основании утверждённых параметров маршрутной сети.

Предлагаемая модель позволит внедрить интеллектуальную систему оптимизации расписания движения и корректировки выпуска транспортных средств на маршрут в зависимости от текущего транспортного спроса не только в рамках хозяйственной деятельности одного перевозчика, а в рамках всей маршрутной сети. Вся выручка с линии в предлагаемой модели поступает в распоряжение заказчика перевозок (в пользу бюджета).

Предлагаемая модель управления перевозками подразумевает обязательное оснащение всего транспорта общего пользования следующим оборудованием [7, 8]:

- 1) навигационное оборудование;
- 2) оборудование автоматизированной системы безналичной оплаты проезда, управляемое из диспетчерского центра;

- 3) система ADAS с функцией онлайн-контроля за состоянием водителя;
- 4) датчики учёта пассажиропотока над каждым дверным проёмом;
- 5) система видеонаблюдения в салоне;
- 6) мониторы для информирования пассажиров внутри салона и речевой автоинформатор, озвучивающий наименования остановок и путь следования;
- 7) внешние электронные маршрутоуказатели, управляемые из диспетчерского центра;
- 8) монитор водителя, отображающий схему текущего маршрута и ситуацию в салоне;
- 9) специальное место для кондуктора;
- 10) внешняя видеокамера с функцией оперативного распознавания и подсчёта количества людей, стоящих на остановочном пункте, с функцией онлайн-передачи данных в диспетчерский центр [9].

В предложенном перечне указано только техническое оборудование, необходимое для гибкого управления транспортом общего пользования, вопросы комфорта пассажирских перевозок не относятся к теме настоящей статьи.

Принимая во внимание безопасность перевозок как один из главнейших показателей транспортной системы, в предлагаемой модели управления пассажирскими перевозками особое место отводится кондукторам. Водитель транспорта общего пользования, как источника повышенной опасности, должен быть сосредоточен только на управлении транспортным средством, дорожной обстановке и соблюдении расписания движения. Вопросы сбора выручки и контроля оплаты проезда не должны входить в функционал водителя. Поскольку в предлагаемой модели вся выручка с линии должна поступать в бюджет, в салоне каждого транспортного средства необходим кондуктор с функциями контролёра.

Особое место в предлагаемой модели гибкого управления транспортом общего пользования отводится машинному обучению, аналитике больших данных и прогнозированию [10, 11]. Видеокамера, установленная снаружи транспортного средства по ходу его движения, с функцией распознавания и подсчёта количества человек, стоящих на остановочном пункте в момент подъезда транспортного средства, позволит максимально точно определить наполняемость остановочного пункта и долю входящих в транспортное средство пассажиров. Стационарные видеокамеры, располагаемые в настоящее время на остановочных пунктах, обладают ограниченной видимостью, поскольку люди могут располагаться по периметру вокруг павильона, находятся за стенкой и за пределами угла обзора камеры. Угол обзора видеокамеры на транспортном средстве при приближении к остановочному пункту охватывает территорию внутри и вокруг остановочного павильона по принципу «если человек видит приближающийся автобус, то и автобус видит его». Данная видеокамера должна также распознавать людей в инвалидных колясках, приближающихся к транспортному средству, и подавать сигнал водителю о необходимости раскладывания аппарели и оказания помощи в посадке либо высадке пассажира в инвалидной коляске.

Таким образом, каждое транспортное средство, работающее на маршруте, передаёт в режиме реального времени в диспетчерский центр информацию о наполняемости салона, количестве входящих и выходящих пассажиров на каждой остановке, наполняемости остановочных пунктов по ходу следования и скорости собственного движения. Собираемые данные используются для обучения нейросети, которая впоследствии должна научиться прогнозировать наполняемость каждого транспортного средства и остановочного пункта в выбранный момент времени и наоборот прогнозировать время, в которые будут происходить существенные изменения наполняемости, проанализировав все поступающие в режиме реального времени данные или вводимые исходные данные для моделирования, и выдавать рекомендации по оперативному изменению выпуска и расписания движения по маршрутам с соблюдением режима труда и отдыха каждого водителя [12, 13].

Ограниченность материальных, финансовых и человеческих ресурсов, используемых при организации транспортного обслуживания населения, влечёт к необходимости расстановки приоритетов обслуживания. Приоритет обслуживания будет определяться не только количеством человек, ожидающих прибытие транспортного средства конкретного маршрута,

но и прогнозным временем ожидания. К примеру, перевозка 10 человек, ожидающих прибытия автобуса в течение часа, будет приоритетнее, чем перевозка 20 человек, время ожидания которых при переключении автобуса на другой маршрут увеличится с 5 до 10 минут. Ценность времени каждого пассажира должна быть одинаковой.

Интеллектуальная транспортная система при интеграции с обезличенными данными об адресах и времени выполнения платёжных операций всех видов банковских карт и с данными мобильных операторов о передвижении устройств (либо данными разработчиков приложений о передвижении мобильных устройств, на которых эти приложения установлены) впоследствии позволит анализировать скрытый транспортный спрос и предлагать решения по развитию транспортной системы города, позволяющие переориентировать жителей на новые более удобные способы передвижения [14, 15].

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

Выводы

Существующая контрактная система перевозок пассажиров по маршрутам регулярных перевозок по регулируемым тарифам не позволяет обеспечивать динамичное управление подвижным составом и оперативно реагировать на изменение транспортного спроса в рамках всей маршрутной сети.

Внедрение инновационных технологий по оптимизации расписаний движения и других параметров маршрутов возможно только при наличии гибкого управления транспортом общего пользования без постоянной привязки к конкретному маршруту, что влечёт за собой коренной пересмотр структуры правовых отношений между организатором перевозок, пассажиром и перевозчиком.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года: Указ Президента РФ от 07.05.2024 N 309 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50542>.
2. Рубец А.Д. История автомобильного транспорта России. М.: Эксмо, 2008. 304 с.
3. Курганов В.М., Грязнов М.В., Дорофеев А.Н. Обратные связи в управлении транспортной системой // Логистические системы в глобальной экономике. 2021. №11. С. 189-193.
4. Курганов В.М., Грязнов М.В., Дорофеев А.Н., Адувалин А.А. Методика нормирования материальных ресурсов для автобусов // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2022. №1. С. 102-116. DOI: 10.25198/2077-7175-2022-1-102
5. Об организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 13.07.2015 №220-ФЗ. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_182659/.
6. О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 05.04.2013 №44-ФЗ. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_144624/.
7. Еремин С.В., Новиков А.Н., Фроленкова Л.Ю., Кулев А.В., Кулев М.В. 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. 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.
9. Домбалян А.В., Зырянов В.В., Шаталова Е.Е., Проскурина О.В. Разработка геоинформационной базы пешеходных потоков в Ростовской агломерации // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №2(81). С. 81-88. DOI: 10.33979/2073-7432-2023-2(81)-81-88.
10. Chew, Sean Inclusive Transportation Planning: Empowering the Public via Digital Tools in Bus Planning // Columbia University. 2023 . P. 42.
11. Лихачев Д.В., Дорохин С.В., Петренко В.В. Инновационные решения и сервисы на основе данных

для оценки аварийности и управления портфелем страхования транспортных средств / Отв. редактор В.А. Зеликов // Перспективы развития и основные вопросы в науке: Национальная научно-практическая конференция. Воронеж: ВГЛТУ. 2023. С. 37-41.

12. He Li. Real-time passenger flow oriented metro operation without timetables [Электронный ресурс] // University of Birmingham. 2022. P. 215. URL: <https://etheses.bham.ac.uk/id/eprint/13672/>.

13. Якунин Н.Н., Якунина Н.В., Любимов И.И. Региональные пассажирские автотранспортные системы: постановка задачи, первые результаты оценивания // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2023. Т. 20. №6(94). С. 748-761. DOI: 10.26518/2071-7296-2023-20-6-748-761.

14. Грязнов М.В., Сысоева С.В. Анализ потребностей городского населения в перемещениях (на примере г. Магнитогорска) / Под научной редакцией Е.Е. Витвицкого // Техника и технологии наземного транспорта: Сборник трудов аспирантов (с международным участием). Омск: СибАДИ. 2022. С. 19-28.

15. Подкопаев А.В., Шевцова А.Г., Гвоздевский И.Н. Перспективное направление повышения эффективности городского общественного транспорта // Научные технологии и инновации (XXV научные чтения): материалы Международной научно-практической конференции. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. С. 743-747.

Глаголев Сергей Николаевич

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

Д.э.н., профессор, ректор

Email: rector@intbel.ru

Новиков Иван Алексеевич

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

Д.т.н., профессор, директор транспортно-технологического института

Email: ooows@mail.ru

Ризаева Юлия Николаевна

МИРЭА – Российский технологический университет

Адрес: 119454, Россия, г. Москва, пр. Вернадского, 78

Д.т.н., профессор кафедры метрологии и стандартизации, Член Общественного совета при Министерстве транспорта РФ

E-mail: rizaeva@mirea.ru

Лукинов Александр Сергеевич

Департамент транспорта администрации города Липецка

Адрес: 398001, Россия, г. Липецк, ул. Фрунзе, 1

Заместитель председателя департамента транспорта администрации города Липецка

E-mail: lukinovas@lipetskcity.ru

S.N. GLAGOLEV, I.A. NOVIKOV, YU.N. RIZAEVA, A.S. LUKINOV

THE MODEL OF ADAPTABLE TRANSIT CONTROL

Abstract. *The authors analyzed the existing contract system of the passenger transportation and proposed a new model of adaptable transit control, eliminating the disadvantages of the existing model of transportation management.*

Keywords: *management of the passenger transport and logistics system, organization of passenger transportation, digitalization, road transport*

BIBLIOGRAPHY

1. О националь'ных тселях развития Росси'ской Федератсии на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года: Ukaz Prezidenta RF ot 07.05.2024 N 309 [Elektronnyy resurs]. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50542>.
2. Rubets A.D. Istoriya avtomobil'nogo transporta Rossii. M.: Eksmo, 2008. 304 s.
3. Kurganov V.M., Gryaznov M.V., Dorofeev A.N. Obratnye svyazi v upravlenii transportnoy sistemoy // Logisticheskie sistemy v global'noy ekonomike. 2021. №11. S. 189-193.
4. Kurganov V.M., Gryaznov M.V., Dorofeev A.N., Aduvalin A.A. Metodika normirovaniya material'nykh resursov dlya avtobusov // Intellect. Innovatsii. Investitsii. 2022. №1. S. 102-116. DOI: 10.25198/2077-7175-2022-1-102

5. Ob organizatsii regul'yarnykh perevozok passazhirov i bagazha avtomobil'nym transportom i gorodskim nazemnym elektricheskim transportom v Rossiyskoy Federatsii i o vnesenii izmeneniy v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossiyskoy Federatsii [Elektronnyy resurs]: Federal'nyy zakon ot 13.07.2015 №220-FZ. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_182659/.
6. O kontraktnoy sisteme v sfere zakupok tovarov, rabot, uslug dlya obespecheniya gosudarstvennykh i munitsipal'nykh nuzhd [Elektronnyy resurs]: Federal'nyy zakon ot 05.04.2013 №44-FZ. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_144624/.
7. Eremin S.V., Novikov A.N., Frolenkova L.YU., Kulev A.V., Kulev M.V. 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. 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.
9. Dombalyan A.V., Zyryanov V.V., Shatalova E.E., Proskurina O.V. Razrabotka geoinformatsionnoy bazy peshekhodnykh potokov v Rostovskoy aglomeratsii // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №2(81). S. 81-88. DOI: 10.33979/2073-7432-2023-2(81)-81-88.
10. Chew, Sean Inclusive Transportation Planning: Empowering the Public via Digital Tools in Bus Planning // Columbia University. 2023. R. 42.
11. Likhachev D.V., Dorokhin S.V., Petrenko V.V. Innovatsionnye resheniya i servisy na osnove dannykh dlya otsenki avariynosti i upravleniya portfelem strakhovaniya transportnykh sredstv / Otv. redaktor V.A. Zelikov // Perspektivy razvitiya i osnovnye voprosy v nauke: Natsional'naya nauchno-prakticheskaya konferentsiya. Voronezh: VGLTU. 2023. S. 37-41.
12. He Li. Real-time passenger flow oriented metro operation without timetables [Elektronnyy resurs] // University of Birmingham. 2022. R. 215. URL: <https://etheses.bham.ac.uk/id/eprint/13672/>.
13. YAkunin N.N., YAkunina N.V., Lyubimov I.I. Regional'nye passazhirskie avtotransportnye sistemy: postanovka zadachi, pervye rezul'taty otsenivaniya // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta. 2023. T. 20. №6(94). S. 748-761. DOI: 10.26518/2071-7296-2023-20-6-748-761.
14. Gryaznov M.V., Sysoeva S.V. Analiz potrebnostey gorodskogo naseleniya v peremeshcheniyakh (na primere g. Magnitogorska) / Pod nauchnoy redaktsiei E.E. Vitvitskogo // Tekhnika i tekhnologii nazemnogo transporta: Sbornik trudov aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiem). Omsk: SibADI. 2022. S. 19-28.
15. Podkopaev A.V., Shevtsova A.G., Gvozdevskiy I.N. Perspektivnoe napravlenie povysheniya effektivnosti gorodskogo obshchestvennogo transporta // Nauchnye tekhnologii i innovatsii (XXV nauchnye chteniya): materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Belgorod: BGTU im. V.G. Shukhova. 2023. S. 743-747.

Glagolev Sergey Nikolaevich

Belgorod State Technological University
Address: 308012, Russia, Belgorod, st. Kost'yukova, 46
Doctor of economic sciences
E-mail: rector@intbel.ru

Novikov Ivan Alekseevich

Belgorod State Technological University
Address: 308012, Russia, Belgorod, st. Kost'yukova, 46
Doctor of technical sciences
E-mail: ooows@mail.ru

Rizaeva Yulia Nikolaevna

MIREA – Russian Technological University
Address: 119454, Russia, Moscow, Vernadskogo str., 78
Doctor of technical sciences
E-mail: rizaeva@mirea.ru

Lukinov Aleksandr Sergeevich

Lipetsk Department of Transportation
Address: 398001, Russia, Lipetsk, Frunze str., 1
Vice-Chair of Lipetsk Department of Transportation
E-mail: lukinovas@lipetskcity.ru

РЕЗОЛЮЦИЯ
X международной научно-практической Конференции
«Информационные технологии и инновации на транспорте»

15 – 18 мая 2024 г. в Орловском государственном университете им. И.С. Тургенева прошла X международная научно-практическая Конференция «Информационные технологии и инновации на транспорте», которая вызвала большой интерес у представителей научных, образовательных учреждений, предприятий и организаций транспортного комплекса, смежных отраслей экономики.



В работе Конференции приняли участие более 250 специалистов, в т.ч. ведущие ученые из Российской Федерации и других стран в области транспорта. Было заслушано более 200 научных докладов и выступлений. На Конференции прошли предварительную апробацию более 20 докторских и кандидатских диссертаций.

География Конференции: Республика Беларусь, Китайская Народная Республика, Москва, Санкт-Петербург, Луганск, Красноярск, Калининград, Якутск, Новочеркасск, Барнаул, Оренбург, Иркутск, Краснодар, Ульяновск, Омск, Тюмень, Владимир, Нижний Новгород, Краснодар, Волгоград, Ростов-на-Дону, Рязань, Тверь, Пенза, Липецк, Ижевск, Курск, Белгород, Саратов, Воронеж, Тула, Орел.

В качестве организаторов Конференции выступали ведущие ВУЗы России, Республики Беларусь, Китая, Государственная Дума Российской Федерации, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Международная ассоциация автомобильного и дорожного образования, Российская академия транспорта, Администрация Орловской области, Группа компаний «Навигатор», члены экспертного совета ВАК по транспорту.

Цели проведения Конференции: определение и систематизация актуальных проблем и тенденций в области цифровых и информационных технологий на транспорте, обмен результатами деятельности научных школ, ведущих ученых и представителей бизнеса. Популяризация инновационных и прогрессивных технологий в транспортном комплексе.

Задачи:

1. Информирование научной общественности и специалистов о новых технологиях и возможностях, обеспечиваемых внедрением интеллектуальных транспортных систем.
2. Представление опыта внедрения и использования цифровых и информационных технологий в транспортном комплексе. Популяризация системы ГЛОНАСС в транспортном комплексе.
3. Представление интеграционных процессов с использованием данных, полученных на основе навигационно-телематических систем, с различными информационными системами.
4. Рассмотрение современных подходов организации и обеспечения безопасности дорожного движения на основе цифровых и информационных технологий и системного управления деятельностью по предотвращению дорожно-транспортных происшествий и оценка их потенциала.

5. Рассмотрение проблем формирования и функционирования цифровых систем перевозки грузов и пассажиров.
6. Анализ современных тенденций в организации и управлении дорожным движением.
7. Рассмотрение новых и инновационных технологий технического обслуживания и ремонта транспортных и транспортно-технологических машин.
8. Оценка текущего состояния, опыт разработок и внедрения, перспективы информатизации и цифровизации транспортно-технологических процессов и систем в агропромышленном комплексе.



Основные направления работы конференции:

1. Цифровые и информационные технологии управления транспортными системами.
2. Интеллектуальные транспортные системы.
3. Безопасность дорожного движения.
4. Инновационные технологии на автомобильном транспорте.
5. Инновационные технологии повышения эффективности мультимодальных транспортных процессов.

Решение:

По результатам работы Конференции можно сделать вывод, что цели проведения Конференции достигнуты. Содержание большинства докладов дало возможность ознакомиться с основными направлениями развития и применения современных информационных технологий и инновационных разработок в различных сферах автомобильного транспорта на основе отечественного и зарубежного опыта.

Участники Конференции отмечают значительно возросшее значение роли информационных технологий и инноваций на транспорте в Российской Федерации. Проводимые исследования и разработки вносят существенный вклад в развитие транспорта, а также способствуют повышению эффек-

тивности функционирования транспортного комплекса в современных условиях.

По мнению участников Конференции *ключевыми проблемами, требующими научно-обоснованного решения*, являются:

- вопросы развития интеллектуальных транспортных систем (ИТС) на общегосударственном, региональном и муниципальном уровнях; обоснование научных подходов к созданию высокоавтоматизированных транспортных средств; проблемы и перспективы развития оперативного информирования участников движения об изменении дорожной обстановки;
- развитие методов оценки эффективности транспортных систем, исследования пассажиропотоков и новых методов управления транспортными потоками и процессами перевозок с использованием ИТС;
- развитие системы поддержки принятия решений для минимизации логистических издержек, повышения качества перевозок пассажиров и грузов; мониторинга процессов перевозок опасных и специфических грузов на основе спутниковых навигационных систем;
- совершенствование процессов управления персоналом сервисных предприятий, поставки запасных частей и методов оценки качества предоставляемых услуг;
- совершенствование методов диагностирования, использования новых материалов, упрочняющей обработки деталей с целью повышения ресурса узлов и агрегатов транспортных средств; повышение эффективности эксплуатации традиционных, гибридных автомобилей, отдельных агрегатов;
- развитие систем экологического мониторинга транспортных потоков, методов снижения дорожно-транспортной аварийности и тяжести их последствий;
- гармонизация транспортных процессов с современными направлениями развития экономики.

Заключение

1. Интеграция навигационных, геоинформационных, и коммуникационных систем носит основополагающий характер в сфере информационного обеспечения и развития транспортного комплекса Российской Федерации. Интеллектуальные транспортные системы являются средством интеграции телематики и спутниковых навигационных систем.

2. Необходимо ускорить развитие научно-методических основ внедрения интеллектуальных транспортных систем на федеральном, региональном, муниципальном уровнях и разработку нормативно-правовых актов, регулирующих деятельность в этой области.

3. Требуется активизировать развитие региональных навигационно-информационных систем и внедрение автоматизированных систем с использованием технологий ГЛОНАСС в транспортный комплекс субъектов Российской Федерации.

4. Современный рынок транспортных услуг в Российской Федерации должен базироваться на передовых информационных технологиях, интегрирующих процессы перевозок пассажиров и грузов, сети распространения транспортной информации, системы управления и обеспечения безопасности дорожного движения.

5. Необходимо совершенствовать образовательный процесс ведущих высших учебных заведений по использованию информационных технологий в транспортном комплексе. Участниками конференции отмечено противоречие между повышением важности деятельности по организации дорожного движения и уменьшением числа подготавливаемых специалистов по этому направлению.

6. Необходимо призвать заинтересованные органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации к поиску эффективных приемов внедрения инноваций в транспортные системы регионов и муниципальных образований.

7. Рекомендовать Оргкомитету подготовить аналитический обзор итогов и результатов Конференции, распространить опыт конференции среди образовательных учреждений, ведущих подготовку кадров для транспортной отрасли, а также научных и производственных предприятий и объединений.

8. Рассмотреть возможность адаптации программных мероприятий последующих конференций актуальными вопросами развития транспортной отрасли, определенными в национальных целях и приоритетах государственного развития.

Зам. председателя оргкомитета Конференции,
Заслуженный работник высшей школы РФ,
д.т.н., профессор



А.Н. Новиков

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 17.09.2024 г.

Дата выхода в свет 03.10.2024 г.

Формат 70х108/16. Усл. печ. л. 9,3

Цена свободная. Тираж 500 экз.

Заказ № 185

Отпечатано с готового оригинал-макета
на полиграфической базе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95