

ISSN 2073-7432

МИР ТРАНСПОРТА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 4 (91) 2025

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

№ 4(91) 2025

Мир транспорта и технологических машин

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

<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, 2025</p>	<h2>Содержание</h2> <p><i>Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте</i> А.В. Колин Обоснование ввода экспрессных маршрутов в маршрутные схемы городского пассажирского транспорта 3 Е.А. Ануфриев, С.А. Евтюков, К.А. Ануфриев Совершенствование способа дорожной диагностики с целью повышения безопасности дорожного движения ... 9</p> <p><i>Управление процессами перевозок</i> А.Н. Новиков, С.А. Жесткова Методика формирования «зеленых» маршрутов доставки груза автомобильным транспортом 18 Ю.В. Саввин Методика оптимального планирования отгрузки продукции автомобильным транспортом на металлургическом предприятии в условиях цифровизации: разработка и апробация 24 В.Е. Марченко, В.В. Страшной Разработка модели оптимизации логистических критериев на промышленном предприятии 34</p> <p><i>Эксплуатация автомобильного транспорта</i> С.В. Новиков, Н.А. Загородний, А.С. Семькина, А.А. Конев Выявление взаимосвязей значений технических параметров автомобилей и частоты отказов 41 В.Н. Ложкин, И.В. Сауцк Диагностирование дизельных пожарных автомобилей с использованием автоматизированного метода контроля их экологической безопасности в эксплуатации 52 М.Ю. Елагин, Э.А. Оганян, Р.Н. Хмелев Имитационное моделирование привода колесной электрической самоходной машины в различных условиях эксплуатации 59 С.В. Куценко, О.А. Акимочкина, Д.О. Ломакин, Е.Н. Олейников Клинико-психологический анализ амаксофобии: от механизмов формирования к методам коррекции 66 А.А. Волков, О.С. Гасилова, М.В. Грязнов Необходимость корректировки формул для проведения автотехнической экспертизы 75 А.В. Горин, О.В. Яковленко, К.В. Васильев Применение эффекта адаптации к режимам трения в подшипниках скольжения 81 Я.С. Ткачева, С.С. Хажокова Проект станции технического обслуживания для китайских автомобилей 88</p> <p><i>Интеллектуальные транспортные системы</i> А.В. Гринченко, Ю.Н. Ризаева, В.Э. Клявин, А.М. Шмырин Концептуальная модель интеллектуальной системы транспорта общего пользования 97 С.И. Корягин, П.М. Клячек, Н.Х. Сагателян, И.В. Либерман Нейро-цифровая трансформация на транспорте на основе концепции индустрия 6.0 104 А.И. Недобитков, А.И. Охотенко, Ж.А. Шаяхметова, Ю.А. Недобитков Обоснование оптимального маршрута полета бпла при создании цифровой модели места дорожно-транспортного происшествия 112 Е.В. Мирошников О состоянии транспортно-логистического комплекса страны 120 К.С. Разина, В.В. Сиваков, С.А. Симонов Основные направления совершенствования городских пассажирских перевозок при внедрении интеллектуальных систем управления транспортом 130</p> <p><i>Логистические транспортные системы</i> С.Р. Нафасбекова, М.И. Мальшев, К.И. Забалуев, А.А. Подберёзкин Модель изменения сроков перевозки по западной ветви международного транспортного коридора «север-юг» 137</p>
---	---

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

World of transport and technological machines

Scientific and technical journal

Published since 2003

A quarterly review

№ 4(91) 2025

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)	A.V. Kolin The rationale for implementing express routes in urban passenger transport networks..... 3 E.A. Anufriev, S.A. Yevtyukov, K.A. Anufriev Improving the method of road diagnostics in order to improve road safety..... 9
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	A.N. Novikov, S.A. Zhestkova Method for forming «green» routes for cargo delivery by road transport..... 18 Yu.V. Savvin Methodology of optimal planning of shipment of products by road at a metallurgical enterprise in the context of digitalization: development and testing..... 24 V.E. Marchenko, V.V. Strashnoy Development of a model for optimizing logistics criteria in an industrial enterprise 34
The journal is registered in Federal Agency of supervision in sphere of communication, information technology and mass communications. Registration Certificate ПИ № ФС77- 67027 of August 30 2016	<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	S.V. Novikov, N.A. Zagorodny, A.S. Semykina, A.A. Konev Identification of interrela- tions between the values of technical parameters of cars and the failure rate..... 41 V.N. Lozhin, I.V. Satsuk Diagnostics of diesel fire trucks using an automated method of control of their environmental safety in operation..... 52 M.Y. Elagin, E.A. Oganyan, R.N. Khmelev Simulation of the drive of a wheeled electric self-propelled vehicle in various operating conditions..... 59 S.V. Kushchenko, O.A. Akimochkina, D.O. Lomakin, E.N. Oleynikov Clinical and psy- chological analysis of amaxophobia: from formation mechanisms to correction methods..... 66 A.A. Volkov, O.S. Gasilova, M.V. Gryaznov The need to adjust formulas for conducting automotive technical expertise..... 75 A.V. Gorin, O.V. Yakovlenko, K.V. Vasiliev Application of the adaptation effect to fric- tion modes in sliding bearings..... 81 Y.S. Tkacheva, S.S. Khazhokova Project of service station for chinese cars..... 88
© Registration. Orel State University, 2025	<i>Intelligent transport systems</i>
	A.V. Grinchenko, Yu.N. Rizaeva, V.E. Klyavin, A.M. Shmyrin Conceptual model of intel- ligent public transport system..... 97 S.I. Koryagin, P.M. Klachek, N.H. Sagatelyan, I.B. Liberman Neuro-digital transfor- mation in transport based on the industry 6.0 concept..... 104 A.I. Nedobitkov, A.I. Okhotenko, Zh.A. Shayakhmetova, Yu.A. Nedobitkov Rationalization of the best uav flight route when creating a digital model of a scene of a traffic acci- dent..... 112 E.V. Miroshnikov About the state of the country's transport and logistics complex..... 120 K.S. Rasina, V.V. Sivakov, S.A. Simonov The main directions of improvement of urban passenger transportation in the implementation of intelligent transport management systems..... 130
	<i>Logistic transport systems</i>
	S.R. Nafasbekova, M.I. Malyshev, K.I. Zabaluev, A.A. Podberezkin A model for changing transportation times along the western branch of the north-south international transport corridor..... 137

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

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

Научная статья

УДК 656.1

doi: 10.33979/2073-7432-2025-4(91)-3-8

А.В. КОЛИН

ОБОСНОВАНИЕ ВВОДА ЭКСПРЕССНЫХ МАРШРУТОВ В МАРШРУТНЫЕ СХЕМЫ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

Аннотация. В статье рассматривается алгоритм применения методики обоснования внедрения экспрессных маршрутов общественного транспорта, основанной на анализе пассажиропотоков. Рассматриваемая методика демонстрирует потенциал экспрессных маршрутов для роста скорости сообщения и снижения затрат при интеграции в районные или городские транспортные сети.

Ключевые слова: экспрессный маршрут, общественный транспорт, пассажиропотоки, транспортное планирование, транспортная сеть

Введение

Скорость сообщения представляет собой один из наиболее значимых показателей качества транспортного обслуживания, оказывающий существенное влияние на предпочтения пассажиров при выборе способа перемещения. Данный параметр является определяющим как при сравнении различных видов общественного транспорта между собой, так и при оценке альтернативы между использованием личного и общественного транспорта. При этом повышение скорости движения общественного транспорта существенно повышает его производительность и ведёт к снижению себестоимости перевозок, поскольку для выполнения того же объёма перевозок требуется меньшее количество единиц подвижного состава [1].

В условиях высокой степени автомобилизации наблюдается существенный дисбаланс в организации транспортных потоков. Несмотря на синхронизацию фаз светофорного регулирования на последовательно расположенных перекрестках (режим «зеленой волны»), характерную для основного транспортного потока, общественный транспорт, в силу необходимости осуществления остановок для высадки и посадки пассажиров, оказывается исключенным из данной системы приоритетного проезда. Это приводит к вынужденным простоям общественного транспорта на запрещающих сигналах светофоров практически на каждом перекрёстке и существенному снижению эффективности транспортного обслуживания.

Материал и методы

Отмена ряда остановок на отдельном маршруте позволяет не только сократить суммарную продолжительность простоя на остановочных пунктах, но и сократить простои, связанные с ожиданием разрешающей фазы на перекрёстках, расположенных за этими остановочными пунктами. Так, например, если скорость сообщения на обычных маршрутах автобусов, трамваев, троллейбусов варьируется в диапазоне 16-18 км/ч, то на маршрутах – экспрессах она достигает значений 20-30 км/ч [3].

Учитывая потенциальные преимущества экспрессных маршрутов, их внедрение требует комплексного анализа совокупности факторов при принятии решения об их интеграции в маршрутную сеть [2].

При принятии решения о вводе экспрессных маршрутов помимо оценки основных факторов эксплуатации маршрута, необходимо учитывать потенциальный отказ от поездки в случае продолжительного ожидания транспортного средства [4].

В зависимости от комбинации различных видов общественного транспорта на всевозможных маршрутах транспортной сети изменяются показатели качества обслуживания пассажиров, экономическая эффективность эксплуатации транспортной сети и другие параметры.

Теория

В случаях, когда на уличных магистралях потенциально может быть рассмотрено внедрение экспрессных маршрутов, а также при сравнении альтернативных или объединенных сценариев формирования (реорганизации) маршрутной сети может быть использован следующий алгоритм оценки рациональности внедрения экспрессных маршрутов [5].

На первом этапе на уличных магистралях остановочные пункты необходимо ранжировать по величинам потенциалов на следующие группы:

– остановочные пункты, на которых экспрессы обязательно будут иметь остановку (сюда по умолчанию включатся пересадки на скоростной внеуличный транспорт (метрополитен, железные дороги), вокзалы (автовокзалы, аэропорты), крупнейшие генерирующие пассажиропотоки объекты (промышленные предприятия, учебные заведения) и т.п.;

– остановочные пункты, на которых экспрессные маршруты могут не останавливаться.

На рисунке 1 показан перечень остановочных пунктов на Петергофском шоссе и Проспекте Стачек в Санкт-Петербурге и их ранжирование по пассажирообороту (сумма количества пассажиров, совершивших высадку и посадку на остановочном пункте в течение часа пикового периода), которое позволяет выделить остановочные пункты с наибольшим пассажирооборотом.

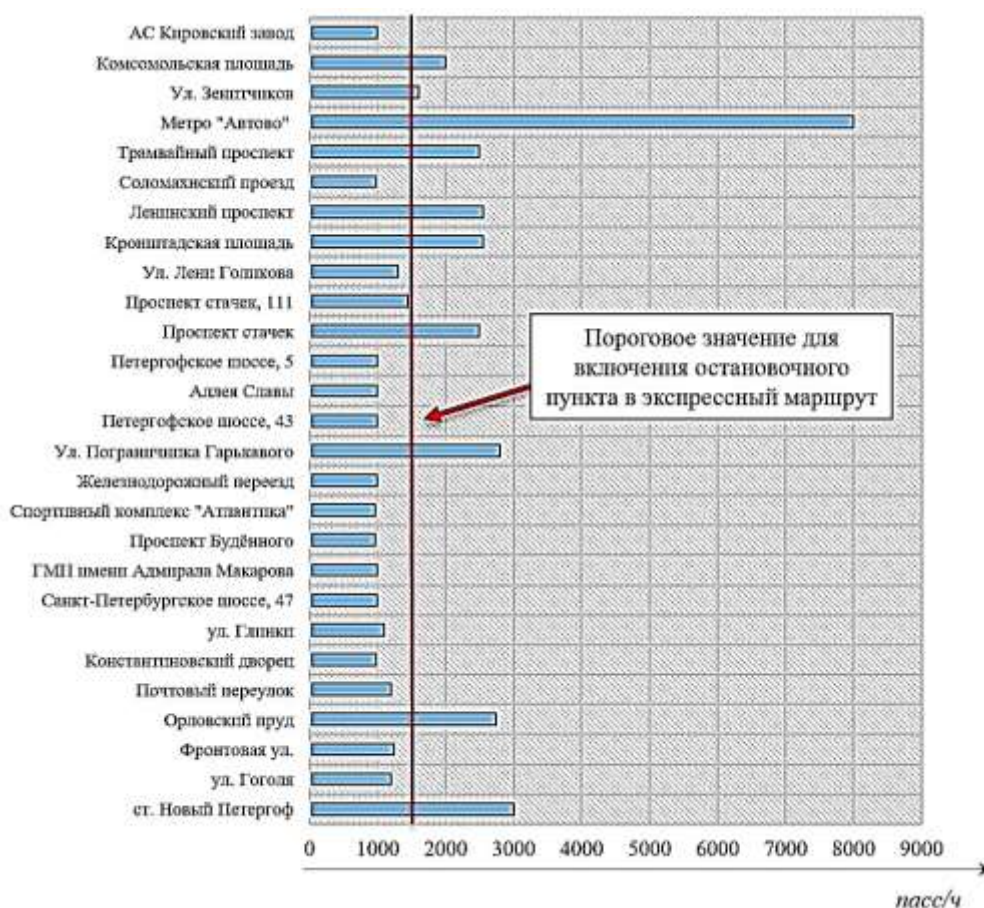


Рисунок 1 – Выделение остановочных пунктов на Петергофском шоссе и проспекте Стачек для экспрессных маршрутов

Рисунок 1 демонстрирует разницу в анализируемой величине пассажирооборота на остановочных пунктах вдоль уличной магистрали. Как видно из рисунка 1, на 9 из 27 рассматриваемых остановочных пунктов, пассажирооборот превышает значения остальных остановочных пунктов в 2-8 раз. Данный анализ позволяет сделать предварительный вывод о перспективе внедрения экспрессного маршрута, имеющего остановки на остановочных пунктах, где пассажирооборот превышает 1500 пасс./ч.

На втором этапе проводится комплексный анализ пассажиропотоков, включающий

определение доли пассажирооборота на потенциальных остановках экспресса относительно общего пассажирооборота всех остановочных пунктов уличной магистрали и сравнение доли густоты пассажиропотока на экспрессном направлении с максимальной густотой пассажиропотока на уличной магистрали, что позволяет объективно оценить потенциальную востребованность и эффективность нового маршрута.

Рациональность организации экспресс-маршрутов напрямую зависит от доли густоты пассажиропотока на уличной магистрали и доли пассажирооборота, приходящегося на потенциальные остановочные пункты.

Для пассажиров маршрут-экспресс имеет смысл при выполнении условия:

$$t_{\text{ож экспр } j} < 60L_{\text{ср экспр } j} \left(\frac{1}{V_{\text{поост } j}} - \frac{1}{V_{\text{экспр } j}} \right), \quad (1)$$

где $t_{\text{ож экспр } j}$ – средняя продолжительность ожидания транспортной единицы экспрессного j -го маршрута, мин;

$L_{\text{ср экспр } j}$ – средняя дальность поездки пассажира в пределах j -го экспрессного маршрута, км;

$V_{\text{поост } j}$ и $V_{\text{экспр } j}$ – маршрутная скорость движения транспортных единиц соответственно в режиме следования со всеми остановками и в экспрессном режиме, км/ч.

$$t_{\text{ож экспр } j} = \frac{I_{\text{экспр } j}}{2} = \frac{A_{\text{экспр } j}}{2b_{\text{экспр } j}}, \quad (2)$$

где $I_{\text{экспр } j}$ – интервал движения на экспрессном j -ом маршруте, мин;

$A_{\text{экспр } j}$ – расчётная густота пассажиропотока, определяемая суммой величин корреспонденций пассажиропотоков в пределах экспрессного j -го маршрута в наиболее насыщенном сечении, пасс;

$b_{\text{экспр } j}$ – расчётная вместимость транспортной единицы-экспресса на j -ом маршруте, пасс.

В существующей практике экспрессные маршруты обычно обслуживаются автобусами [6]. Однако возможны другие варианты [7]. При сравнении альтернативных сценариев обслуживания уличной магистрали различными видами транспорта [8] на различных маршрутах необходимо разделить густоты пассажиропотоков на «экспрессные» и «поостановочные» и определить их значение по формуле (3).

Для «экспрессных» густот пассажиропотоков значения параметра a_s в формуле (3) выбираются только для тех корреспонденций, которые начинаются и заканчиваются на остановочных пунктах, выбранных для остановки потенциального экспрессного маршрута. Соответственно, густота поостановочных пассажиропотоков представляет из себя разницу между общей густотой пассажиропотоков и густотой экспрессного пассажиропотока.

$$A_k = \sum_{s=1}^m \sigma_{sk} * a_s + a_{ok}, \quad (3)$$

где A_k – величина густоты пассажиропотока на k -том отрезке, пасс/ч;

σ_{sk} – булева переменная,

$\sigma_{sk} = \begin{cases} 1, & \text{если } s - \text{корреспонденция проходит через } k - \text{ый отрезок;} \\ 0, & \text{если } s - \text{корреспонденция не проходит через } k - \text{ый отрезок.} \end{cases}$

a_s – величина пассажиропотока по s – корреспонденции, пасс/ч;

m – количество рассматриваемых корреспонденций пассажиропотоков;

a_{ok} – дополнительная величина густоты пассажиропотока, возникающая при сложении величин пассажиропотоков по корреспонденциям, возникающим внутри k – того отрезка, пасс/ч.

На третьем этапе различные комбинации маршрутов и обслуживания их различными видами транспорта оцениваются по ключевым показателям, позволяющим принять рациональное решение.

При анализе различных комбинаций маршрутов стоит учитывать, что трамваи и троллейбусы в пределах двухпутных и однопутных линий не могут обгонять друг друга, следовательно, за ними могут быть закреплены только либо поостановочные, либо экспрессные маршруты. В противном случае потребуется сооружение дополнительной пары трамвайных путей или дополнительных двух пар троллейбусных проводов.

Например, при наличии (или рассмотрении) в коридоре трамвайной линии и преобладании экспрессных пассажиропотоков над поостановочными потенциальные экспрессные

маршруты следует закрепить за трамваем, а обслуживание поостановочных предусмотреть троллейбусами и/или автобусами. При наличии (рассмотрении) в коридоре, согласно сценарию, только троллейбусной линии, потенциальные экспрессные маршруты следует закрепить за троллейбусом, а обслуживание поостановочных предусмотреть автобусами [16].

Варианты обслуживания и экспрессных и поостановочных маршрутов одновременно трамваями (троллейбусами) также могут быть рассмотрены. В таком случае разрабатывается сценарий развития транспортной сети, учитывающий наличие сразу 4 трамвайных путей (4 пар троллейбусных контактных проводов).

Следует заметить, что обслуживание на одной уличной магистрали поостановочных маршрутов классическими троллейбусами, а экспрессных маршрутов – троллейбусами с увеличенным автономным ходом (далее – ТУАХ) не целесообразно, так как ТУАХ придется слишком часто снимать и ставить обратно на контактную сеть токоприёмники, что одновременно затруднит движение всех троллейбусов. Исключением может быть вариант, при котором все ТУАХ будут гарантированно проходить участок в экспрессном режиме [10].

Для комплексной оценки выбора конкретной конфигурации маршрута каждого из рассматриваемых транспортных средств, необходимо рассматривать показатели провозной емкости, выполнения транспортной работы и экономической эффективности [9].

Результаты и обсуждение

При моделировании транспортной системы необходимо учитывать особенности экспресс-маршрутов в рамках общей системы ограничений. Экспресс-маршруты, обладая собственной провозной способностью на всех участках следования, должны быть согласованы с интенсивностью соответствующих пассажиропотоков [14]. Критически важным аспектом является дифференциация обслуживания: если обычные маршруты обязаны обеспечивать перевозку всех категорий пассажиров, то экспресс-маршруты могут быть задействованы выборочно – как для обслуживания экспрессных, так и части обычных пассажиропотоков, что требует тщательного балансирования их провозных возможностей [13].

Дополнительное условие выполнения транспортной работы потенциальными экспрессными маршрутами в таком случае будет иметь следующий вид:

$$\sum_{i=1}^z \sum_{j=1}^n \sigma_{jk} * b_{\text{экспр } i} * x_{\text{экспр } ij} < A_{\text{экспр } k}, \quad (4)$$

где z – количество типов транспортных единиц;

n – количество маршрутов;

σ_{jk} – булева переменная;

$\sigma_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{если } j - \text{ый маршрут проходит через } k - \text{ый отрезок;} \\ 0, & \text{если } j - \text{ый маршрут не проходит через } k - \text{ый отрезок.} \end{cases}$

$b_{\text{экспр } i}$ – вместимость транспортных единиц i -го типа, работающих на экспрессном маршруте, пасс/ТЕ;

$x_{\text{экспр } ij}$ – часовые размеры движения транспортных единиц i -го типа на j -ом экспрессном маршруте, ТЕ/ч;

$A_{\text{экспр } k}$ – величина экспрессного пассажиропотока в k -том сечении;

k – номер сечения (отрезка улично-дорожной сети, соединяющего смежные пассажирообразующие узлы и на котором предусматривается движение маршрутного пассажирского транспорта).

Выводы

Оценка различных комбинаций маршрутов является трудоемкой задачей [11]. Рациональным может быть признан такой вариант совокупности комбинаций, соблюдающий ограничения по освоению всех пассажиропотоков с учетом особенностей линейной инфраструктуры [12], соблюдения заданных параметров по интервалам и минимизации пересадок [5], сохраняющий максимальную преемственность с существующими маршрутами, а также обеспечивающий минимальные приведенные затраты [9].

Авторами подчеркивается, что предложения по введению экспрессных маршрутов является не единственным инструментом повышения эффективности функционирования транспортной сети [15]. В качестве потенциальных инструментов так же могут быть рас-

смотрены:

- перенос или добавление новых остановочных пунктов [17];
- корректировка маршрута с учетом изменений размещения пунктов генерации и погашения крупных пассажиропотоков [18];
- замена вида транспорта, обслуживающего маршрут;
- обновление парка транспортных средств на более совершенные модели, в том числе с увеличенным автономным ходом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vukan R. Vuchic. Urban Transit: Operations, Planning and Economics // Wiley. 2005. P. 672.
2. Laporte G., Mesa J.A., Ortega F.A., Perea F. Planning rapid transit networks // Socio-Economic Planning Sciences. 2011. Vol. 45. P. 95-104.
3. Xueping Dou, Hua Wang, Qiang Meng. Parallel shuttle bus service design for planned mass rapid transit shutdown: The Singapore experience // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2019. Vol. 108. P. 340-356.
4. Ziqi Zhang, Xuan Li, Jikang Zhang, Yang Shi Optimizing Bus Bridging Service Considering Passenger Transfer and Reneging Behavior // Sustainability. 2024. Vol.16. 10710. doi.org/10.3390/su162310710.
5. Вакуленко С.П., Айсина Л.Р., Шмаль В.Н., Насыбуллин А.М. Оценка расписания движения поездов с учётом обеспечения удобства пересадки для пассажиров в пути следования // История и перспективы развития транспорта на севере России. 2022. №1. С. 63-66. EDN ARLMTX.
6. Печуров И.С. Методика выбора маршрута для скоростного автобусного сообщения // Магистратура - автотранспортной отрасли: Материалы V Всероссийской межвузовской конференции, Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. 2021. С. 331-337. EDN RJWJBO.
7. Печуров И.С., Горев А.Э., Попова О.В. Методы выбора коридоров движения и маршрутизации скоростных автобусных перевозок // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2024. №3(78). С. 109-115.
8. Колин А.В. Троллейбус, автобус или электробус? // Транспорт Российской Федерации. 2018. №3(76). С. 38-42.
9. Рыбаков П.В., Красильников П.А., Айсина Л.Р. Использование метода единичных расходных ставок для оценки эксплуатационных расходов на городском пассажирском транспорте // Транспортное дело России. 2025. №1. С. 23-25. EDN ETCZCJ.
10. Мачерет Д.А., Разуваев А.Д. Методология совершенствования оценки экономической эффективности развития транспортной инфраструктуры // Управление. 2024. Т. 12. №3. С. 26-35.
11. Фадеев А.И., Ильянков А.М., Укадеров В.В. Распределение корреспонденций по сети в задачах проектирования перевозок городским пассажирским транспортом общего пользования // Вестник СибАДИ. 2023. Т. 20. №3(91). С. 362-386. DOI 10.26518/2071-7296-2023-20-3-362-386.
12. Цариков А.А. Исследование улично-дорожной сети городов на предмет возможности выделения полос для движения пассажирского транспорта // Вестник СибАДИ. 2025. №22(2). С. 266-280. EDN: ZBDTWS.
13. Благовидова Н.Г., Кузин П.А. Принципы архитектурно-планировочных решений пересадок между станциями МЦК и другими видами транспорта // Архитектура и современные информационные технологии. 2019. №1(46). С. 290-317. EDN YYXPGX.
14. Глушкова Ю.О., Пахомова А.В., Асоян А.Р. Сравнение экономической эффективности эксплуатации троллейбуса и автобуса с учетом экологического фактора // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2018. Т. 15. №3(61). С. 372-389. EDN XTBPTN.
15. Мочалин С.М., Колебер Ю.А. Перспективы развития методов оптимизации маршрутных сетей городского пассажирского транспорта // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2019. Т. 16. №3(67). С. 242-255.
16. Новиков А.Н., Кулев А.В., Катунин А.А. [и др.] Оптимизация маршрутов пассажирского транспорта в г. Орле // Мир транспорта и технологических машин. 2015. №3(50). С. 115-122. EDN ULELSZ.
17. 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. EDN AXCSBX.
18. Чуркина Н.А., Шмаль В.Н. О возможностях улучшения транспортной доступности города Дзержинский // История и перспективы развития транспорта на севере России. 2024. №1. С. 61-65. EDN BFUJQK.

Колин Алексей Валентинович

Российский университет транспорта (МИИТ)

Адрес: 127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9

Начальник научно-образовательного центра «Независимые комплексные транспортные исследования»

E-mail: alex5959@yandex.ru

A.V. KOLIN

THE RATIONALE FOR IMPLEMENTING EXPRESS ROUTES IN URBAN PASSENGER TRANSPORT NETWORKS

Abstract: *The article presents an algorithm for implementing a methodology to justify the introduction of express public transport routes, based on passenger flow analysis. The proposed methodology demonstrates how express routes can potentially increase travel speeds and reduce operational costs when integrated into local or citywide transport networks.*

Keywords: *express route, public transport, passenger traffic flow, transportation planning, transport network*

BIBLIOGRAPHY

1. Vukan R. Vuchic. Urban Transit: Operations, Planning and Economics // Wiley. 2005. P. 672.
2. Laporte G., Mesa J.A., Ortega F.A., Perea F. Planning rapid transit networks // Socio-Economic Planning Sciences. 2011. Vol. 45. P. 95-104.
3. Xueping Dou, Hua Wang, Qiang Meng. Parallel shuttle bus service design for planned mass rapid transit shutdown: The Singapore experience // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2019. Vol. 108. P. 340-356.
4. Ziqi Zhang, Xuan Li, Jikang Zhang, Yang Shi Optimizing Bus Bridging Service Considering Passenger Transfer and Reneging Behavior // Sustainability. 2024. Vol.16. 10710. doi.org/10.3390/su162310710.
5. Vakulenko S.P., Aysina L.R., SHmal' V.N., Nasybullin A.M. Otsenka raspisaniya dvizheniya poezdov s uchtiom obespecheniya udobstva peresadki dlya passazhirov v puti sledovaniya // Istoriya i perspektivy razvitiya transporta na severe Rossii. 2022. №1. S. 63-66. EDN ARLMTX.
6. Pechkurov I.S. Metodika vybora marshruta dlya skorostnogo avtobusnogo soobshcheniya // Magistratura - avtotransportnoy otrasli: Materialy V Vserossiyskoy mezhvuzovskoy konferentsii, Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitel'nyy universitet. 2021. S. 331-337. EDN RJWJBO.
7. Pechkurov I.S., Gorev A.E., Popova O.V. Metody vybora koridorov dvizheniya i marshrutizatsii skorostnykh avtobusnykh perevozok // Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI). 2024. №3(78). S. 109-115.
8. Kolin A.V. Trolleybus, avtobus ili elektrobus? // Transport Rossiyskoy Federatsii. 2018. №3(76). S. 38-42.
9. Rybakov P.V., Krasil'nikov P.A., Aysina L.R. Ispol'zovanie metoda edinichnykh raskhodnykh stavok dlya otsenki ekspluatatsionnykh raskhodov na gorodskom passazhirskom transporte // Transportnoe delo Rossii. 2025. №1. C. 23-25. EDN ETCZCJ.
10. Macheret D.A., Razuvaev A.D. Metodologiya sovershenstvovaniya otsenki ekonomicheskoy effektivnosti razvitiya transportnoy infrastruktury // Upravlenie. 2024. T. 12. №3. S. 26-35.
11. Fadeev A.I., Il'yankov A.M., Ukaderov V.V. Raspreделение korrespondentsiy po seti v zadachakh proektirovaniya perevozok gorodskim passazhirskim transportom obshchego pol'zovaniya // Vestnik SibADI. 2023. T. 20. №3(91). S. 362-386. DOI 10.26518/2071-7296-2023-20-3-362-386.
12. Tsarikov A.A. Issledovanie ulichno-dorozhnoy seti gorodov na predmet vozmozhnosti vydeleniya polos dlya dvizheniya passazhirskogo transporta // Vestnik SibADI. 2025. №22(2). S. 266-280. EDN: ZBDTWS.
13. Blagovidova N.G., Kuzin P.A. Printsipy arkhitekturno-planirovochnykh resheniy peresadok mezhdru stantsiyami MTSK i drugimi vidami transporta // Arkhitektura i sovremennye informatsionnye tekhnologii. 2019. №1(46). S. 290-317. EDN YYXPGX.
14. Glushkova YU.O., Pakhomova A.V., Asoyan A.R. Sravnenie ekonomicheskoy effektivnosti ekspluatatsii trolleybusa i avtobusa s uchetom ekologicheskogo faktora // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta. 2018. T. 15. №3(61). S. 372-389. EDN XTBPTN.
15. Mochalin S.M., Koleber YU.A. Perspektivy razvitiya metodov optimizatsii marshrutnykh setey gorodskogo passazhirskogo transporta // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta. 2019. T. 16. №3(67). S. 242-255.
16. Novikov A.N., Kulev A.V., Katunin A.A. [i dr.] Optimizatsiya marshrutov passazhirskogo transporta v g. Orle // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2015. №3(50). S. 115-122. EDN ULELSZ.
17. Kolin A.V., Aysina L.R. Printsipy opredeleniya optimal'nogo rasstoyaniya mezhdru ostanovochnymi punktami zheleznodorozhnogo transporta // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. Nauchnyy informatsionnyy sbornik. 2020. №5. S. 32-36. DOI 10.36535/0236-1914-2020-05-6. EDN AXCSBX.
18. Churkina N.A., SHmal' V.N. O vozmozhnostyakh uluchsheniya transportnoy dostupnosti goroda Dzerzhinskiy // Istoriya i perspektivy razvitiya transporta na severe Rossii. 2024. №1. S. 61-65. EDN BFUJQK.

Kolin Alexey Valentinovich

Russian University of transport

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

Chief of research and educational cent «Nezavisimye kompleksnye transportnye issledovaniya»,

E-mail: alex5959@yandex.ru

Научная статья

УДК 656.13

doi: 10.33979/2073-7432-2025-4(91)-9-17

Е.А. АНУФРИЕВ, С.А. ЕВТЮКОВ, К.А. АНУФРИЕВ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБА ДОРОЖНОЙ ДИАГНОСТИКИ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

Аннотация. В статье рассматривается применение системы трехмерного сканирования для диагностики автомобильных дорог, направленной на повышение безопасности дорожного движения. Цель исследования заключается в оценке целесообразности применения трехмерного сканирования в дорожно-транспортной диагностике, что позволит выявлять факторы, не обнаруживаемые традиционными методами. Кроме того, использование данной системы будет способствовать повышению уровня безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах. Предлагается использование гироскопического стабилизатора для лазерного сканирующего устройства, что значительно улучшает точность мониторинга дорожного покрытия и инфраструктуры, а также введение технологий искусственного интеллекта для автоматизации анализа данных диагностики.

Ключевые слова: безопасность дорожного движения, подсистема «Автомобильная дорога», дорожная диагностика, дорожно-транспортные происшествия, гироскопический стабилизатор, лазерное сканирующее устройство, цифровой двойник дороги

Введение

Проблемные зоны и концентрационные точки в системе организации и обеспечения безопасности дорожного движения (БДД) выявляются на основе анализа оперативных данных. Традиционный анализ проводится по абсолютным показателям ДТП, включающим: количество ДТП, число погибших и раненых. Также проблемные зоны определяются при проведении дорожной диагностики, которая способствует формированию и улучшению состояния БДД на дорогах.

Анализ данных Росстата о несоответствии автомобильных дорог нормативным требованиям указывает на тенденцию снижения относительного показателя несоответствия дорог нормативным требованиям (рис. 1). Однако на конец 2024 года данный показатель составлял 46,1 %, что является крайне высоким значением и свидетельствует о высоком риске возникновения ДТП из-за низкого уровня содержания дорог [1].

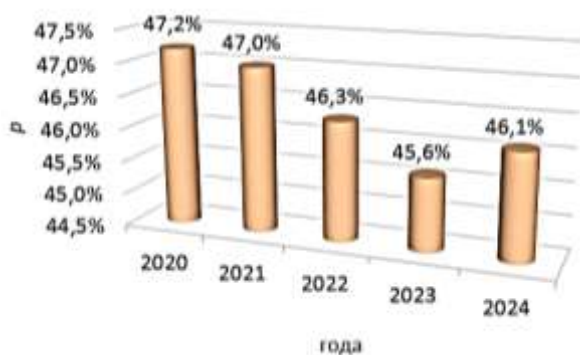


Рисунок 1 – Динамика изменения относительного показателя несоответствия автомобильных дорог Российской Федерации нормативным требованиям

Согласно второму закону термодинамики энтропия (мера беспорядка) любой системы постоянно увеличивается [2]. В связи с этим усложняется управление факторами системы «УДД-ТС-АД-С»:

- УДД - участник дорожного движения;
- ТС - транспортное средство;
- АД - автомобильная дорога;
- С - среда.

Управление факторами системы «УДД-ТС-АД-С» может осуществляться на основании имеющейся информации по конкретным участкам автомобильной дороги, полученной своевременно от научно-исследовательских центров.

Ведение диагностики автомобильных дорог позволяет быстрее обнаруживать дефекты и устранять их. Однако классическая диагностика имеет ряд недостатков, которые впоследствии отражаются на качестве восстановительных работ и создают поле разногласий при приемке работ между заказчиками и исполнителями по диагностике автомобильных дорог.

Материал и методы

Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года прогнозирует увеличение парка легковых автомобилей до 31,8 % в период с 2020 по 2035 год [3]. Рост автомобилизации, как следствие, влечет за собой увеличение количества ДТП и приводит к увеличению риска несчастных случаев на автомобильных дорогах. В период с 2016 года по 2024 в Российской Федерации можно наблюдать снижение количества ДТП на 25,5 % (рис. 2). Вместе с тем стоит отметить, что в последние 3 года количество ДТП остается примерно на одном уровне [4].

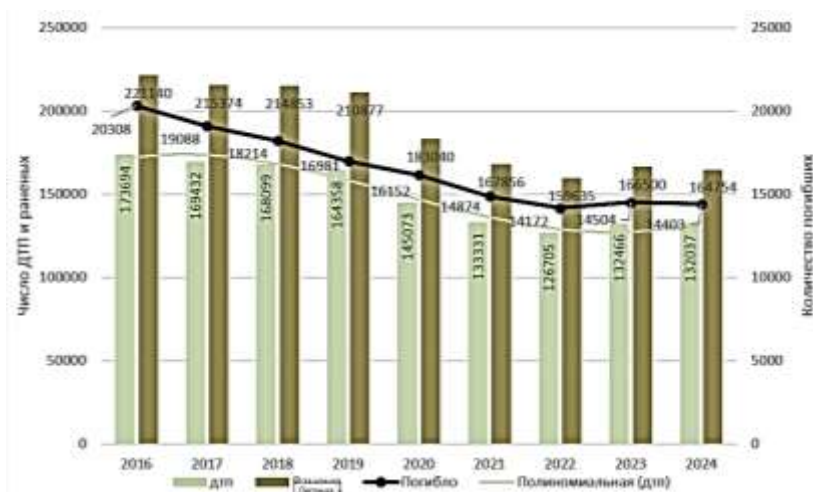


Рисунок 2 – Динамика снижения дорожно-транспортных происшествий в Российской Федерации с 2016 по 2024 годы

Эту закономерность можно представить в виде уравнения полиномиальной регрессии следующим образом:

$$y = -3,4828x^4 + 484,58x^3 - 6306,9x^2 + 17048x + 160846.$$

Статистика ДТП за последний 2024 год (9 месяцев) показывает, что было зарегистрировано 29028 случаев, среди которых были выявлены нарушения обязательных требований к эксплуатационному состоянию и обустройству автомобильных дорог общего пользования, улиц и дорог городов и сельских поселений, железнодорожных переездов, что на 2,9 % ниже в сравнении с прошлым 2023 годом. Количество данных ДТП составило треть (30,1 %) от общего числа зарегистрированных происшествий. В этих происшествиях погибли 3187 и ранены 35984 человека, что увеличивает коэффициент тяжести последствий. В данных ДТП наиболее часто фиксировались плохая видимость дорожной разметки, отсутствие дорожных знаков и неудовлетворительное качество дорожного полотна [5].

Лишь в редких случаях дорожно-транспортные происшествия могут быть вызваны одной-единственной причиной. Как правило, ДТП случаются в результате влияния совокупности нескольких факторов системы «УДД-ТС-АД-С». При этом, при обработке статистической информации обычно делается вывод, что причина того или иного происшествия одна. Согласно официальной статистике, роль дорожно-транспортной инфраструктуры в возникновении дорожно-транспортных происшествий невелика [6]. В развитых европейских странах показатель статистики возникновения подобных дорожно-транспортных происшествий находится в диапазоне от 2 % до 20 % от общего числа ДТП [7]. Однако сравнивать статистики по дорожно-транспортным происшествиям в Российской Федерации и в зарубежных странах некорректно, так как в развитых европейских государствах иная дорожно-транспортная инфраструктура, а также значительно более низкие скоростной режим и диапазон допустимого превышения скорости.

Проблемы, связанные с отсутствием тех или иных средств дорожно-транспортной инфраструктуры, являются комплексными и требуют тщательного рассмотрения и принятия решений по их недопущению. Выдача заключений исследования или оценки состояния дорог производится на основании проведенных диагностических мероприятий. Основной целью диагностических мероприятий является своевременное получение информации о степени соответствия фактических характеристик автомобильной дороги требованиям нормативной документации. Диагностика автомобильных дорог включает четыре этапа:

- подготовительные работы – в ходе этих работ производится подготовка передвижных дорожно-транспортных лабораторий, поверка средств измерений, тарировка измерительного оборудования и анализ необходимой технической документации по предстоящему обследованию;
- полевые работы – выполняются с помощью передвижных дорожно-транспортных лабораторий и передвижных диагностических прицепов;
- камеральные работы – выполняются на основе полевых работ с обнаружением дефектов, определением технических средств организации дорожного движения (ТСОДД) и их технического состояния, а также выявлением проблемных зон автомобильной дороги;
- оформление отчетных материалов – по результатам диагностики формируется отчетная документация о транспортно-эксплуатационном состоянии автомобильной дороги и проекты организации дорожного движения (ПОДДы) совместно с итоговыми ведомостями.

Теория

Передвижная дорожно-транспортная лаборатория на основе измерительного комплекса представляет собой совокупность высокоточных измерительных систем, установленных на шасси автомобиля, предназначенного для сбора полной и достоверной информации о транспортно-эксплуатационном состоянии автомобильных дорог.

Современные передвижные дорожно-транспортные лаборатории позволяют фиксировать одновременно ряд параметров: длину пройденного пути, географические координаты, геометрические параметры автомобильной дороги (продольный и поперечный уклоны, профили дороги). В то же время перед передвижными дорожно-транспортными лабораториями способны производить панорамную видеосъемку, определять микропрофиль, получать детальную информацию о дефектах покрытия, производить измерения колеиности покрытия, регистрировать интенсивность транспортного потока, определять коэффициент сцепления и прочность нежестких дорожных одежд.

На сегодняшний день активно внедряются передвижные дорожные лаборатории, оснащенные лазерными сканерами (лидарами), которые позволяют значительно улучшить качество мониторинга дорожного покрытия и дорожной инфраструктуры. Но при этом существует ряд факторов, влияющих на точность измерений, получаемых с помощью данных сканеров: вибрации, колебания, температурные изменения и внешние помехи. Ключевым фактором являются колебания дорожно-транспортной лаборатории во время движения, которые можно свести к минимальным значениям, применив двухосный гироскопический стабилизатор.



Рисунок 3 – Передвижная дорожно-транспортная лаборатория с лазерным сканирующим устройством:
1- базовая лаборатория с измерительным комплексом КП-514 RDT; 2 – двухосный гироскопический стабилизатор; 3 – лазерное сканирующее устройство

Рассмотрим передвижную дорожно-транспортную лабораторию на базе автомобиля Ford Transit, оборудованную измерительным комплексом КП-514 RDT (рис. 4). На верхней части кузова лаборатории размещается лидар HESAI Pandar128 механического типа, обеспечивающий сканирование на 360°, благодаря установке излучателя и фотоприемного устройства на вращающейся платформе. Сканирующее устройство закрепляется на двухосном гироскопическом стабилизаторе, установленном на несущей поверхности (крыше автомобиля) посредством опорной стойки. Лидар может вращаться в двух плоскостях горизонта благодаря двум моментным двигателям, компенсирующим углы отклонения, которые возникают вследствие колебаний транспортного

средства из-за неровности дорожного полотна. Применение стабилизатора уменьшает влияние внешних колебательных механических воздействий на сканирование лидара при обследовании дорог.

Данная передвижная дорожно-транспортная лаборатории способна выполнять традиционный комплекс мероприятий по обследованию дорог и дорожной инфраструктуры, а также сканировать окружающее пространство с помощью лидара. Трехмерное сканирующее устройство генерирует до 2 миллионов точек в секунду, благодаря чему возможно измерять форму и контур объекта, а также точное расстояние до него (рис. 4). Данные трехмерного сканирования (облако точек) и фото-видеосъемки имеют привязку к координатам благодаря непрерывной записи их точных координат малогабаритной интегрированной навигационной системой во время диагностики. Вследствие этого возможно объединить сведения о дорожном покрытии и ТСОДД, выявленные из облака точек и фото-видеоматериалов. Таким образом, в программе VisionLidar 365 совмещение двух видов данных позволяет четко определять тот или иной объект и использовать информацию о их взаимном расположении в пространстве [8].



Рисунок 4 – Совмещение облака точек с фото-видеоматериалом

Расчет

В основу работы лазерных сканеров механического типа положен импульсный метод измерения расстояния. Данный метод основан на измерении времени прохождения сигнала от приемно-передающего устройства до объекта и обратно [9]. Зная скорость распространения электромагнитных волн c , можно определить расстояние:

$$R = c \cdot \frac{t}{2},$$

где t – время, измеряемое с момента подачи импульса на лазерный диод до момента приема отраженного сигнала.

Фактическая точность каждого измерения зависит от ряда параметров:

- длительность и форма зондирующего импульса;
- отражательные характеристики объекта;
- оптические свойства атмосферы;
- текстура и ориентация элементарной поверхности объекта, вызвавшей отражение зондирующего луча по отношению к линии визирования [10].

Для формирования цифровой модели автомобильной дороги, отвечающей требованиям проектирования, необходимо придерживаться рекомендуемых отклонений фактических от допустимых значений местоположений объектов: для ширины проезжей части, полос безопасности, тротуаров на мостах не более ± 1 см; для местоположения границ автопавильо-

нов, остановочных, посадочных площадок и технических средств организации дорожного движения не более ± 10 см [11]. При этом средняя квадратическая погрешность современных лидаров составляет примерно ± 3 см [12].

В качестве реперных точек используются опоры линий искусственного освещения. Координаты опор столбов были определены при помощи ортофотоплана картографического сервиса Google Карты.

Для оценки точности использовались разности между измеренными на горизонтальной проекции облака точек координатами X_i, Y_i (рис. 5) и географическими координатами X_i^0, Y_i^0 реперных точек на ортофотоплане, которые считались в данном случае безошибочными:

$$\Delta X_i = X_i - X_i^0, \Delta Y_i = Y_i - Y_i^0, i = 1, n,$$

где n – количество объектов измерений.



Рисунок 5 – Фрагмент облака точек отсканированной автомобильной дороги, приведенного в декартову систему координат

Разности координат ΔX_i и ΔY_i рассматриваются при оценке точности как истинные ошибки. Основными показателями точности являются следующие статистические характеристики выборок [13]:

– средние арифметические ошибки, характеризующие систематическую ошибку снимка, то есть сдвиги по осям координат

$$\bar{\Delta}_x = \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \Delta X_i, \bar{\Delta}_y = \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \Delta Y_i;$$

– модуль сдвига

$$\bar{\Delta}_{xy} = \sqrt{\bar{\Delta}_x^2 + \bar{\Delta}_y^2};$$

– средние квадратические ошибки (СКО) по осям координат m_x, m_y и в плане m_{xy}

$$m_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta X_i^2}, m_y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta Y_i^2}, m_{xy} = \sqrt{m_x^2 + m_y^2};$$

– средняя радиальная ошибка MRE (Mean Radial Error) – в отечественной геодезической практике служит мерой точности положения точки на плоскости

$$MRE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta R_i, \Delta R_i = \sqrt{\Delta X_i^2 + \Delta Y_i^2};$$

– максимальная радиальная ошибка ΔR_{max} .

В ходе эксперимента было определено 13 координат опор линий искусственного освещения (рис. 6). Результаты оценки точности разности между измеренными на горизонтальной проекции облака точек координатами и географическими координатами реперных точек на ортофотоплане приведены в таблице 1.

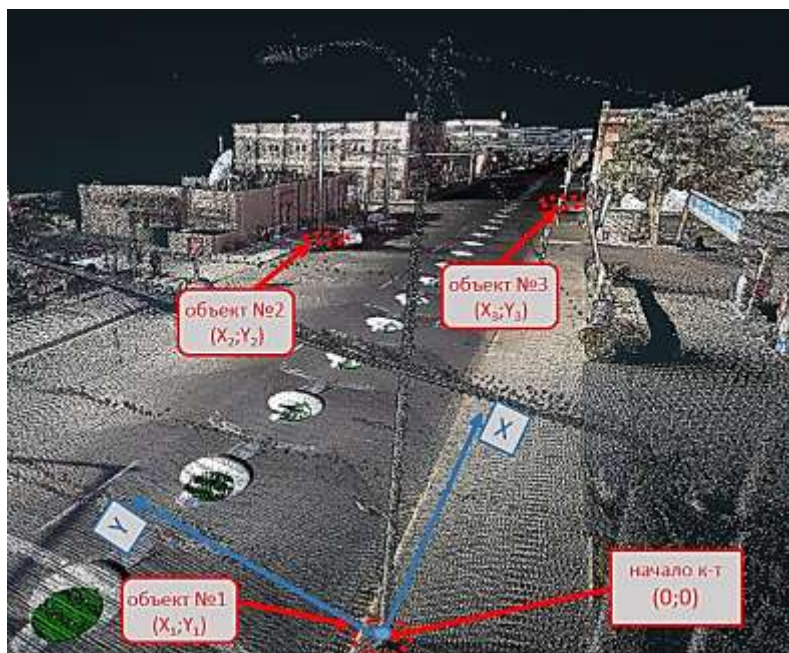


Рисунок 6 – Фрагмент облака точек отсканированной автомобильной дороги

Таблица 1 – Результаты оценки точности

Показатели точности	Значения показателей точности
Сдвиг по оси x , $\bar{\Delta}_x$, см	-3,22
Сдвиг по оси y , $\bar{\Delta}_y$, см	-3,48
Модуль сдвига, $\bar{\Delta}_{xy}$, см	4,74
СКО по оси x , m_x , см	3,22
СКО по оси y , m_y , см	3,48
СКО в плане, m_{xy} , см	4,74
Средняя радиальная ошибка, MRE , см	4,74
Максимальная радиальная ошибка, ΔR_{max} , см	4,78

Результаты и обсуждение

При работе с облаком точек на начальном этапе осуществляется удаление дублирующих точек и шумов (точки, полученные по отражению от зеркальных покрытий, дождя, водяного шлейфа, пыли и проезжающих транспортных средств) с помощью специальных алгоритмов фильтрации. Затем применяются плагины для определения элементарных поверхностей, на основании которых синтезируются трехмерные модели [14]. Эти модели идентифицируются встроенной библиотекой стандартных элементов ТСОДД (рис. 7).

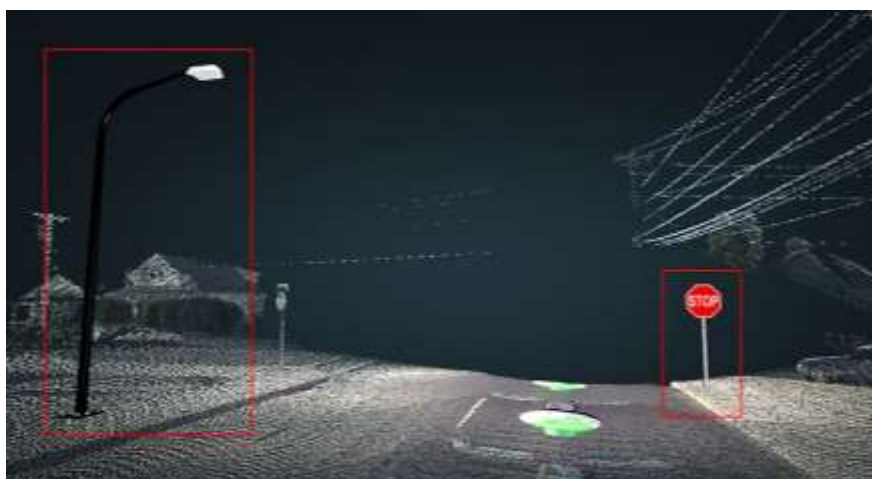


Рисунок 7 – Определение стандартных элементов ТСОДД в облаке точек

Однако после применения данных плагинов необходимо провести проверку качества выполненных операций, так как существующие плагины и функции в ряде случаев не могут точно распознать объекты или определить их количество. В результате данные инструменты не обеспечивают полной автоматизации работы с проектом. Кроме того, использование этих плагинов и функций требует значительных вычислительных мощностей компьютеров [15].

Для решения указанных проблем целесообразно применить технологии искусственного интеллекта в сочетании с машинным обучением [16]. Это позволит значительно упростить анализ и интерпретацию результатов диагностики, а также обеспечить автоматизацию работы с проектом.

Выводы

В данной статье предложено использование гироскопического стабилизатора для лазерного сканирующего устройства передвижной дорожно-транспортной лаборатории, а также выполнен расчет погрешностей и ошибок объектов облака точек отсканированной автомобильной дороги. Любое несоответствие фактического местоположения существующих элементов автомобильной дороги цифровой модели или чертежу приводит к некорректной оценке условий движения и, как следствие, к повышенному риску дорожно-транспортных происшествий, а также к ошибкам проектирования, в частности в определении объемов ремонтных работ.

Таким образом, внедрение предложенной технологии не только улучшает качество проектирования и ремонта дорожной инфраструктуры, но и способствует повышению безопасности на дорогах, что является важным аспектом для обеспечения устойчивого развития транспортной системы.

Статья написана при финансовой поддержке СПбГАСУ, грант №4С25.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доля автомобильных дорог общего пользования местного значения, не отвечающих (отвечающих) нормативным требованиям [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport>.
2. Петров А.И. Качественная оценка системного управления безопасностью дорожного движения: философский смысл и возможности информационно-энтропийного анализа // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №3-1(82). С. 69-76. DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-1(82)-69-76. EDN LEIFSW.
3. Ануфриев К.А., Евтюков С.А. Система формирования парка машин по управлению безопасностью дорожного движения на скоростных дорогах // Грузовик. 2024. №6. С. 39-44. DOI 10.36652/1684-1298-2024-6-39-44. EDN WKEZZC.
4. Показатели состояния безопасности дорожного движения [Электронный ресурс]. URL: <http://stat.gibdd.ru/>.
5. Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации за 9 месяцев 2024 года: Информационно-аналитический обзор / К.С. Баканов, П.В. Ляхов, А.С. Айсанов [и др.]. Москва: ФКУ «НЦ БДД МВД России», 2024. 41 с. EDN BLHEFL.
6. Басков В.Н., Исаева Е.И., Басков В.Н. Влияние параметров УДС на формирование мест концентрации ДТП // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №3-5(82). С. 49-57. DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-5(82)-49-57. EDN NRENIS.
7. Игнатов А.В., Басков В.В. Анализ и визуализация данных о ДТП с использованием RFID - технологий // Совершенствование автотранспортных систем и сервисных технологий: Сборник научных трудов по материалам XIV Международной научно-технической конференции, посвященной 95-летию юбилею доктора технических наук, профессора, заслуженного деятеля науки и техники РФ Авдоськина Фёдора Николаевича (1923-1996). Саратов: Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А. 2018. С. 249-255. EDN AXSMCW.
8. Rashidi Maria, Mohammadi Masoud, Sadeghlou Kivi, Saba Abdolvand, Mohammad Mehdi, Truong-Hong Linh, Samal Bijan. A Decade of Modern Bridge Monitoring Using Terrestrial Laser Scanning: Review and Future Directions. Remote Sensing. 2020. №12. P. 3796. DOI 10.3390/rs12223796.
9. Евтюков С.С., Куракина Е.В., Перевалов Н.В. IT-технологии в автодорожной экспертизе. СПб.: ООО Издательский дом «Петрополис». 2019. 132 с.
10. Рада А.О., Коньков Н.Ю. Разработка алгоритма анализа состояния дорожного полотна с применением искусственного интеллекта // Мир транспорта. 2024. Т. 22. №2(111). С. 40-46. DOI 10.30932/1992-3252-2024-22-2-5. EDN NWWUQQ.
11. Горобцов С.Р. Анализ отечественного программного обеспечения для обработки данных лазерного сканирования // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2023. Т. 1. №1. С. 65-72. DOI 10.33764/2618-981X-2023-1-1-65-72. EDN

OZHSUG.

12. Скрыпник Т.В., Губа В.В., Третьякова Л.Н. Мониторинг состояния сети автомобильных дорог с использованием цифровой модели дороги // Вести Автомобильно-дорожного института. 2024. №2(49). С. 69-75. EDN UXHVYA.

13. Кочнева А.А., Красикова Д.М. Методика оценки точности цифровых моделей рельефа, созданных по данным воздушного лазерного сканирования // Научные тенденции: вопросы точных и технических наук: Сборник научных трудов по материалам VI международной научной конференции. Санкт-Петербург: ЦНК МНИФ «Общественная наука». 2017. С. 51-53. DOI 10.18411/spc-12-05-2017-17. EDN ZCTWON.

14. Lague Dimitri, Brodu Nicolas, Leroux Jérôme. Accurate 3D comparison of complex topography with terrestrial laser scanner: Application to the Rangitikei canyon (N-Z) // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2013. №82. DOI 10.1016/j.isprsjprs.2013.04.009.

15. Жидяев С.С., Молоков П.В. Комплексное исследование точности и надежности различных методов наземного лазерного сканирования и обработки полученных данных // Вестник МИИГАиК: Сборник научных статей 79-ой научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых в рамках Международной Студенческой Недели Науки СНН-2024. Москва: Московский государственный университет геодезии и картографии. 2024. С. 115-127. EDN UMDWUW.

16. Гришин И.А., Терехов В.И. Методы обработки данных лазерного сканирования для разделения участка местности с использованием искусственного интеллекта // Информационно-аналитические и интеллектуальные системы для производства и социальной сферы: Сборник статей II Всероссийской межвузовской научно-практической конференции молодых ученых. Курск: ЗАО «Университетская книга». 2024. С. 74-82. EDN ZOKAKN.

Ануфриев Евгений Андреевич

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

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

Студент

E-mail: eanufriev521@yandex.ru

Евтюков Сергей Аркадьевич

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

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

Д.т.н., профессор кафедры наземных транспортно-технологических машин

E-mail: s.a.evt@mail.ru

Ануфриев Кирилл Андреевич

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

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

Аспирант

E-mail: k.anufry@yandex.ru

E.A. ANUFRIEV, S.A. YEVTYUKOV, K.A. ANUFRIEV

IMPROVING THE METHOD OF ROAD DIAGNOSTICS IN ORDER TO IMPROVE ROAD SAFETY

Abstract. The article discusses the application of a three-dimensional scanning system for the diagnosis of highways aimed at improving road safety. The purpose of the study is to assess the feasibility of using three-dimensional scanning in road traffic diagnostics, which will identify factors that are not detectable by traditional methods. In addition, the use of this system will contribute to improving the level of road safety on highways. It is proposed to use a gyroscopic stabilizer for a laser scanning device, which significantly improves the accuracy of monitoring the road surface and infrastructure, as well as the introduction of artificial intelligence technologies to automate the analysis of diagnostic data.

Keywords: road safety, subsystem «Highway», road diagnostics, traffic accidents, gyroscopic stabilizer, laser scanning device, digital twin of the road

The article was written with the financial support of SPbGASU, grant №4C25.

BIBLIOGRAPHY

1. Dolya avtomobil'nykh dorog obshchego pol'zovaniya mestnogo znacheniya, ne otvechayushchikh (otvechayushchikh) normativnym trebovaniyam [Elektronnyy resurs]. URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport>.

2. Petrov A.I. Kachestvennaya otsenka sistemnogo upravleniya bezopasnost'yu dorozhnogo dvizheniya: filosofskiy smysl i vozmozhnosti informatsionno-entropiynogo analiza // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2023. №3-1(82). S. 69-76. DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-1(82)-69-76. EDN LEIFSW.
3. Anufriev K.A., Evtyukov S.A. Sistema formirovaniya parka mashin po upravleniyu bezopasnost'yu dorozhnogo dvizheniya na skorostnykh dorogakh // *Gruzovik*. 2024. №6. S. 39-44. DOI 10.36652/1684-1298-2024-6-39-44. EDN WKEZZC.
4. Pokazateli sostoyaniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya [Elektronnyy resurs]. URL: <http://stat.gibdd.ru/>.
5. Dorozhno-transportnaya avariynost' v Rossiyskoy Federatsii za 9 mesyatsev 2024 goda: Informatsionno-analiticheskiy obzor / K.S. Bakanov, P.V. Lyakhov, A.S. Aysanov [i dr.]. Moskva: FKU «NTS BDD MVD Rossii», 2024. 41 s. EDN BLHEFL.
6. Baskov V.N., Isaeva E.I., Baskov V.N. Vliyaniye parametrov UDS na formirovaniye mest kontsentratsii DTP // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2023. №3-5(82). S. 49-57. DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-5(82)-49-57. EDN NRENIS.
7. Ignatov A.V., Baskov V.V. Analiz i vizualizatsiya dannykh o DTP s ispol'zovaniem RFID - tekhnologii // *Sovershenstvovaniye avtotransportnykh sistem i servisnykh tekhnologii: Sbornik nauchnykh trudov po materialam XIV Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy 95-letnemu yubileyu doktora tekhnicheskikh nauk, professora, zasluzhennogo deyatelya nauki i tekhniki RF Avdon'kina Fiodora Nikolaevicha (1923-1996)*. Saratov: Saratovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet imeni Gagarina YU.A. 2018. S. 249-255. EDN AXSMCW.
8. Rashidi Maria, Mohammadi Masoud, Sadeghlou Kivi, Saba Abdolvand, Mohammad Mehdi, Truong-Hong Linh, Samal Bijan. A Decade of Modern Bridge Monitoring Using Terrestrial Laser Scanning: Review and Future Directions. *Remote Sensing*. 2020. №12. R. 3796. DOI 10.3390/rs12223796.
9. Evtyukov S.S., Kurakina E.V., Perevalov N.V. IT-tekhnologii v avtodorozhnoy ekspertize. SPb.: OOO Izdatel'skiy dom «Petropolis». 2019. 132 s.
10. Rada A.O., Kon'kov N.YU. Razrabotka algoritma analiza sostoyaniya dorozhnogo polotna s primeneniem iskusstvennogo intellekta // *Mir transporta*. 2024. T. 22. №2(111). S. 40-46. DOI 10.30932/1992-3252-2024-22-2-5. EDN NWWUQQ.
11. Gorobtsov S.R. Analiz otechestvennogo programmnoy obespecheniya dlya obrabotki dannykh lazernogo skanirovaniya // *Interespo Geo-Sibir*. 2023. T. 1. №1. S. 65-72. DOI 10.33764/2618-981X-2023-1-1-65-72. EDN OZHSUG.
12. Skrypnik T.V., Guba V.V., Tretyakova L.N. Monitoring sostoyaniya seti avtomobil'nykh dorog s ispol'zovaniem tsifrovoy modeli dorogi // *Vesti Avtomobil'no-dorozhnoy instituta*. 2024. №2(49). S. 69-75. EDN UXHVYA.
13. Kochneva A.A., Krasikova D.M. Metodika otsenki tochnosti tsifrovyykh modeley rel'efa, sozdannykh po dannym vozdušnogo lazernogo skanirovaniya // *Nauchnye tendentsii: voprosy tochnykh i tekhnicheskikh nauk: Sbornik nauchnykh trudov po materialam VI mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. Sankt-Peterburg: TSNK MNIF «Obshchestvennaya nauka»*. 2017. S. 51-53. DOI 10.18411/spc-12-05-2017-17. EDN ZCTWOH.
14. Lague Dimitri, Brodu Nicolas, Leroux Jrme. Accurate 3D comparison of complex topography with terrestrial laser scanner: Application to the Rangitikei canyon (N-Z) // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2013. №82. DOI 10.1016/j.isprsjprs.2013.04.009.
15. ZHidyayev S.S., Molokov P.V. Kompleksnoye issledovaniye tochnosti i nadezhnosti razlichnykh metodov nazemnogo lazernogo skanirovaniya i obrabotki poluchennykh dannykh // *Vestnik MIIGAiK: Sbornik nauchnykh statey 79-oy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh v ramkakh Mezhdunarodnoy Studencheskoy Nedeli Nauki SNN-2024*. Moskva: Moskovskiy gosudarstvennyy universitet geodezii i kartografii. 2024. S. 115-127. EDN UMDWUW.
16. Grishin I.A., Terekhov V.I. Metody obrabotki dannykh lazernogo skanirovaniya dlya razdeleniya uchastka mestnosti s ispol'zovaniem iskusstvennogo intellekta // *Informatsionno-analiticheskie i intellektual'nye sistemy dlya proizvodstva i sotsial'noy sfery: Sbornik statey II Vserossiyskoy mezhvuzovskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh. Kursk: ZAO «Universitetskaya kniga»*. 2024. S. 74-82. EDN ZOKAKN.

Anufriev Evgeniy Andreevich

Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering
Address: 190005, Russia, Saint Petersburg
Student
E-mail eanufriev521@yandex.ru

Anufriev Kirill Andreevich

Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering
Address: 190005, Russia, Saint Petersburg
Graduate student
E-mail k.anufry@yandex.ru

Yevtyukov Sergey Arkadyevich

Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering
Address: 190005, Russia, Saint Petersburg
Doctor of Technical Sciences
E-mail s.a.evt@mail.ru

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ПЕРЕВОЗОК

Научная статья

УДК 656.13.072:338

doi: 10.33979/2073-7432-2025-4(91)-18-23

А.Н. НОВИКОВ, С.А. ЖЕСТКОВА

**МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ «ЗЕЛЕННЫХ» МАРШРУТОВ
ДОСТАВКИ ГРУЗА АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ**

Аннотация. В данной статье изложена методика определения оптимальных маршрутов доставки грузов, направленная на минимизацию негативного воздействия транспортных операций в окружающую среду, с учетом существенных ограничений. Процесс формирования маршрутов базируется на применении метода фиктивных узлов и ветвей. В качестве ограничивающих факторов рассматриваются: возможность реверсивной загрузки (обратный груз), лимит пунктов назначения на маршруте и грузоподъемность используемого подвижного состава. Экологическая оценка эффективности применения разработанной методики проводится посредством программного комплекса «COPERT».

Ключевые слова: автомобиль, доставка, груз, маршрут, ограничения, массовая доля выбросов

Введение

Ключевой проблемой в современной транспортной логистике выступает задача маршрутизации с ограничениями, особенно при организации кольцевых маршрутов доставки грузов. Эта задача классифицируется как NP-трудная в области дискретной оптимизации [1].

При этом важно проводить различие между тремя основными типами задач, возникающих при перевозке грузов: задачей коммивояжера, задачами развозки (или сбора) и задачами распределения материальных потоков [2].

В задаче коммивояжера, оптимальный маршрут не зависит от объема груза, который получает конечный грузополучатель. Ключевым условием является однократное посещение каждого пункта транспортной сети [3]. В отличие от этого, при решении задач развозки или сбора груза, расчет маршрута осуществляется с учетом его фактического объема. Это означает, что маршрут будет напрямую зависеть от характеристик транспортного средства, таких как его тип, вместимость или грузоподъемность [4].

Таким образом, необходимо разработать методику решения маршрутизации, которая бы учитывала экологическую целесообразность и обладала широким практическим применением.

Материал и методы

Разработанная методика решения задачи маршрутизации с учетом ограничений представлена следующим образом [5]:

- определяются расстояния между пунктами грузопотребления и пунктом грузоотправителя [6];
- определяются маятниковые маршруты с обратным грузом и кольцевые маршруты для основного груза [7];
- далее формируется исходная матрица [8];
- осуществляется ввод фиктивных узлов в исходную матрицу;
- выполняется операция приведения и оценки согласно методике ВиГ [9];
- осуществляется проверка ограничений пунктов обслуживания на маршруте посредством верификации соответствия количества включенных в маршрут пунктов обслуживания установленному лимиту:

$$k \leq N_i, \quad (1)$$

где k – количество пунктов на кольцевом маршруте;

N_i – количество пунктов на кольцевом маршруте, согласно поставленному ограничению.

– осуществляется верификация соблюдения нормативного ограничения по максимальной допустимой массе перевозимого груза в рамках рассматриваемого кольцевого маршрута:

$$\sum_{i=1}^k g_i \leq E, \quad (2)$$

где E – допустимая масса полезной нагрузки, транспортируемой транспортным средством.

В случае несоблюдения установленных ограничений, ячейка, демонстрирующая наивысший показатель в текущей матрице оценок, подвергается блокировке. Последующие этапы включают итеративные процедуры нормализации и повторной оценки [11];

– по завершении всестороннего анализа всех ветвей, достигших максимальной оценки в рамках заданных ограничений, осуществляется возврат к предшествующей матрице принятия решений. На данном этапе проводится повторная верификация соответствия полученных результатов установленным критериям;

– оптимальный маршрут устанавливается по наименьшей длине;

– осуществляется разработка совместных маршрутов, базирующаяся на применении функции выгоды, зависящей от расстояния, расчет которой производится в соответствии с представленной формулой [13]:

$$\Delta L = (L^{осн} + L^{обр}) - L, \quad (3)$$

где L определяется по формуле:

$$L_{ij} = \sum_{i=1}^{u^{осн}} l_{ij}^{осн} + \sum_{i=1}^{u^{обр}} l_{ij}^{обр} + l_{ij}^x \rightarrow \min, \quad (4)$$

где $l_{ij}^{осн}$ – длина между узлами i и j основного груза;

$l_{ij}^{обр}$ – длина между пунктами i и j обратного маршрута;

l_{ij}^x – длина от конечного пункта разгрузки основного груза до склада обратного груза.

$L^{осн}$ – длина маршрутов без обратного груза (с холостым пробегом), определяется по формуле:

$$L^{осн} = \sum_{i=1}^{u^{осн}} l_{ij}^{осн}, \quad (5)$$

$L^{обр}$ – длина отдельной ездки за обратным грузом определяется по формуле [14]:

$$L^{обр} = \sum_{i=1}^{u^{обр}} l_{ij}^{обр}; \quad (6)$$

– осуществляется выбор маршрута с наибольшей функцией выгоды.

Данная методика обладает гибкостью, обладающей адаптировать ее для оптимизации другой целевой функции, например, времени [10].

Расчет

Разработанная методика прошла апробацию в распределительном центре компании ПАО «Магнит» в Пензенской области. Полученные результаты были сравнены с существующими показателями работы подвижного состава при доставке груза в торговые точки с распределительного центра АО «Гандер» за смену по Пензенской области (табл. 1 и 2).

Для оценки экологической эффективности предложенных маршрутов доставки грузов, были рассчитаны выбросы отработанных газов автомобилей до и после внедрения решений в ПАО «Магнит» [14]. Расчет проводился с использованием модели ЕМЕР/ЕЕА, реализованной в компьютерной программе COPERT [12].

Программа COPERT рассчитывает выбросы парниковых газов от автомобилей, учитывая следующие факторы: среднегодовые пробеги, среднюю скорость движения (на город-

ских, сельских дорогах и автомагистралях), категорию и массу транспортного средства (рис. 1), а также вид топлива (рис. 2).

Таблица 1 – Показатели работы подвижного состава при выполнении регулярных рейсов по доставке грузов в течение одной рабочей смены

Количество паллет	Общий пробег автомобиля l , км	Время автомобиля в наряде t , ч	Холостой пробег l^x , км	Пробег с грузом l^r , км	Коэффициент использования пробега β	Транспортная работа P , т · км	Средняя выработка автомобиля	
							U , т/ч	W , ткм/ч
128	1598	75,32	558	1040	0,6	10473,31	14,51	1179,13

Таблица 2 – Показатели работы подвижного состава по разработанным маршрутам доставки груза за смену

Количество паллет	Общий пробег автомобиля l , км	Время автомобиля в наряде t , ч	Холостой пробег l^x , км	Пробег с грузом l^r , км	Коэффициент использования пробега β	Транспортная работа P , т · км	Средняя выработка автомобиля	
							U , т/ч	W , ткм/ч
128	1418	48,52	214	1204	0,8	11070,8	17,21	1848,13

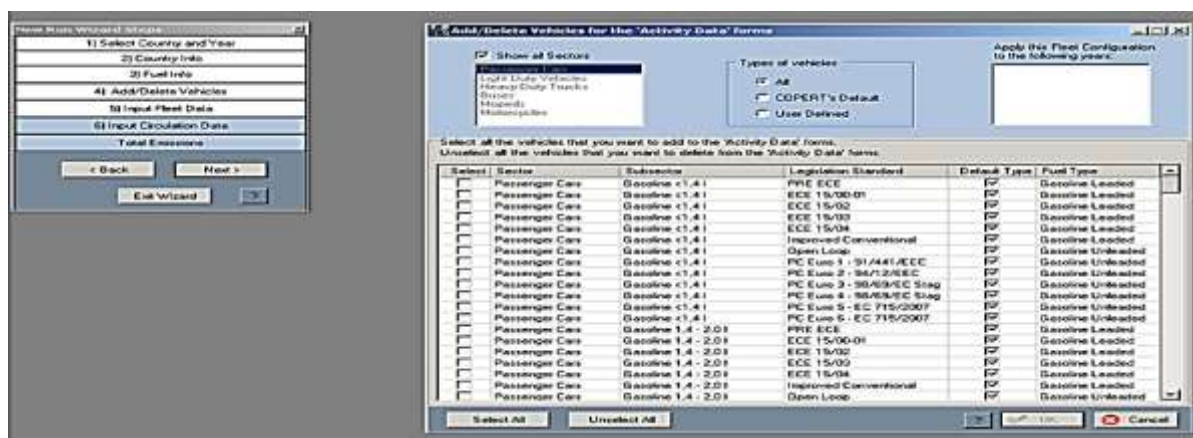


Рисунок 1 – Фрагмент учета массы транспортных средств, при определении эмиссии парниковых газов от работы автомобилей в программе COPERT

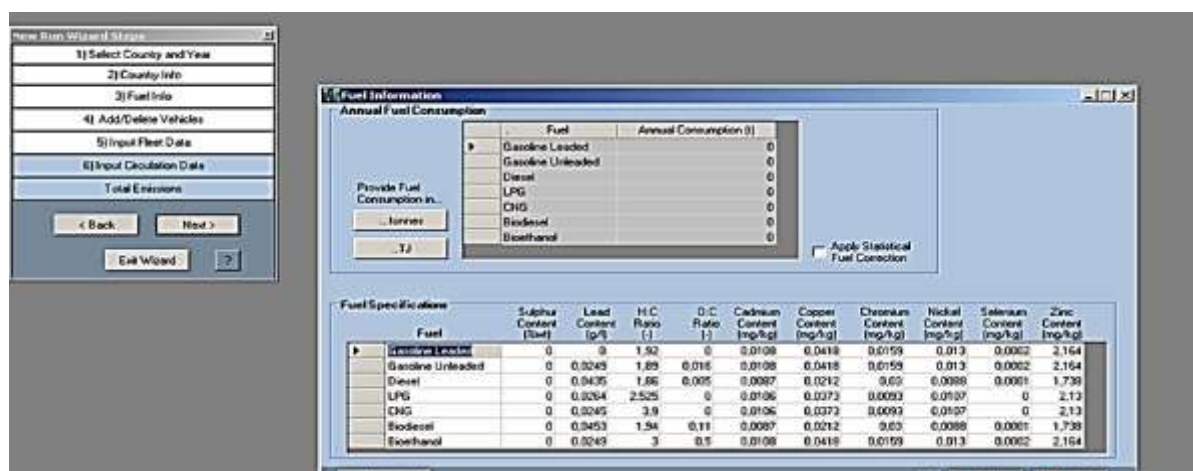


Рисунок 2 – Фрагмент учета вида топлива при определении эмиссии парниковых газов от работы автомобилей в программе COPERT

Исходными данными служат численность автопарка по категориям, его структура по

экологическому классу и виду топлива, а также климатические характеристики региона (рис. 3). Кроме того, учитываются удельные выбросы парниковых газов на единицу пробега, которые зависят от года выпуска автомобиля и наличия систем снижения вредных выбросов [15].



Рисунок 3 – Фрагмент учета климатических характеристик региона при определении эмиссии парниковых газов от работы автомобилей в программе COPERT

Результаты и обсуждение

Результаты расчетов по определению эмиссии парниковых газов от работы автомобилей по программе COPERT приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчетов

Выбросы парниковых газов	Эмиссии парниковых газов от работы автомобилей по предложенным маршрутам доставки грузов	Эмиссии парниковых газов от работы автомобилей по регулярным маршрутам остановки грузов
CO:	$E_{i,j} = (1418 \cdot 365) 0,548 \cdot 8 = 2269026,88$	$E_{i,j} = (1598 \cdot 365) 0,548 \cdot 8 = 2557055,68$
NM VOC:	$E_{i,j} = (1418 \cdot 365) 0,016 \cdot 8 = 66248,96$	$E_{i,j} = (1598 \cdot 365) 0,016 \cdot 8 = 74658,56$
NO _x :	$E_{i,j} = (1418 \cdot 365) 1,190 \cdot 8 = 4927266,4$	$E_{i,j} = (1598 \cdot 365) 1,190 \cdot 8 = 5552730,4$
N ₂ O:	$E_{i,j} = (1418 \cdot 365) 0,018 \cdot 8 = 74530,08$	$E_{i,j} = (1598 \cdot 365) 0,018 \cdot 8 = 83990,88$
NH ₃ :	$E_{i,j} = (1418 \cdot 365) 0,011 \cdot 8 = 45546,16$	$E_{i,j} = (1598 \cdot 365) 0,011 \cdot 8 = 51327,76$
Pb:	$E_{i,j} = (1418 \cdot 365) 0,000171 \cdot 8 = 708,04$	$E_{i,j} = (1598 \cdot 365) 0,000171 \cdot 8 = 797,91$
CO ₂ :	$E_{i,j} = (1418 \cdot 365) 323,846 \cdot 8 = 1340903793,76$	$E_{i,j} = (1598 \cdot 365) 323,846 \cdot 8 = 1511117251,36$

Выводы

Проведенное исследование позволило разработать и представить методику решения маршрутизации с учетом комплексных ограничений, для автомобильных перевозок. Особое внимание уделено преодолению сложности NP-трудной задачи путем систематического подхода, включающего определение расстояний, формирование маршрутов обратного и основного груза, а также применение математических преобразований расчетной матрицы.

Предложенная методика предусматривает последовательное приведение матрицы, оценку нулевых элементов и проверку ключевых ограничений, таких как максимальное количество пунктов обслуживания и допустимая масса груза на маршруте. В случае невыполнения этих условий, предусмотрен механизм блокировки некорректных ветвей решений, что позволяет избежать неоптимальных маршрутов, и направляет процесс к поиску оптимального варианта.

Важным аспектом разработанного подхода является возможность проектирования совместных маршрутов, где эффективность оценивается с помощью функции выгоды, учитывающей как расстояние, так и время.

Внедрение данной методики в ПАО «Магнит» привело к увеличению выработки подвижного состава на 37 % и сокращению времени в пути на 36 %. Кроме того, использование методики позволит сократить выбросы парниковых газов от работы подвижного состава на 20 %.

Таким образом, представленная методика предлагает практический инструмент для решения сложных задач маршрутизации, способный адаптироваться к различным целевым функциям и ограничениям, что делает ее ценным вкладом в развитие региональных автомобильных перевозок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абакаров А.А., Игитов Ш.М. Оптимизация затрат на предприятиях автомобильного транспорта в условиях современной экономики // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. 2024. №4(86). С. 274-279. EDN UUINTZ.
2. Антропов В.А., Сорокина Е.М., Хохлов А.Г. О задаче коммивояжера // Экономика и предпринимательство. 2024. №7(168). С. 1246-1248. DOI 10.34925/EIP.2024.168.7.246. EDN XAXPTG.
3. Бурховецкий В.В., Штейнберг Б.Я. Точное и приближенное решения задачи коммивояжера большого размера // Вычислительные методы и программирование. 2024. Т. 25. №4. С. 476-482. DOI 10.26089/NumMet.v25r436. EDN GAHSAT.
4. Деянов Д.А., Трофименко Ю.В. Методика оценки энергопотребления и выбросов парниковых газов транспортным потоком на улично-дорожной сети // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2024. №3(78). С. 68-77. EDN KCNOFL.
5. Евдонов Г.Н. Реализация метода ветвей и границ для решения задачи коммивояжера со вспомогательным алгоритмом локальной оптимизации в распределенных сетях // В мире научных открытий. 2013. №6(42). С. 199-216. EDN QAWLDR.
6. Иванов А.П. Логистическая оптимизация доставки грузов на контейнерные терминалы // Логистика. 2023. №6(199). С. 11-15. DOI 10.54959/22197222_2023_06_11. EDN FXXRDO.
7. Костюк Ю.Л. Эффективная реализация алгоритма решения задачи коммивояжера методом ветвей и границ // Прикладная дискретная математика. 2013. №2(20). С. 78-90. EDN QCAKVP.
8. Лещева М.М. Алгоритм Литтла - в решении задачи коммивояжера // Научному прогрессу – творчество молодых. 2018. №3. С. 200-203. EDN YLTQXJ.
9. Постников В.М., Спиридонов С.Б. Подход к решению задачи коммивояжера приближенным методом // Аспирант и соискатель. 2024. №4-5(143-144). С. 10-18. EDN AFCCZG.
10. Попов А.О. Исследование методов задачи коммивояжера в приложении к маршрутной оптимизации траекторных задач // Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2025: Сборник трудов VIII Международного научно-технического форума. В 10-ти томах. Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина. 2025. С. 118-123. EDN RIMRUA.
11. Ризаев И.С., Захарова З.Х., Осипова М.С. Методы решения задачи коммивояжера // Наука и технологии: вчера, сегодня, завтра: Сборник научных статей. Краснодар: Новация. 2024. С. 269-273. EDN UFOSOA.
12. Сулюкова Л.Ф., Ахмеджанова З.И. Алгоритмы решения задач маршрутизации транспорта и их применение в информационных системах управления грузоперевозками // Международный журнал теоретических и прикладных вопросов цифровых технологий. 2022. Т. 2. №2. С. 40-52. DOI 10.34920/IJTAIDT/vol_2022_issue_2_4. EDN DUMTCA.
13. Трофименко Ю.В., Гинзбург В.А., Якубович А.Н. [и др.] Усовершенствованная методика расчетного мониторинга выбросов парниковых газов от деятельности автомобильного и внедорожного транспорта в Российской Федерации // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2025. Т. 28. №1. С. 78-96. DOI 10.26467/2079-0619-2025-28-1-78-96. EDN HLGHEZ.
13. Ульянов М.В., Фомичев М.И. Исследование особенностей применения комбинированного алгоритма для решения асимметричной задачи коммивояжера // Информационные технологии. 2021. Т. 27. №1. С. 3-8. DOI 10.17587/it.27.3-8. EDN PFLQUU.
14. Таможников А.В., Чернышов А.С., Тюрин И.Ю., Левченко Г.В. Эффективность грузовых автомобильных перевозок в АПК // Актуальные вопросы организации автомобильных перевозок и безопасности движения: Сборник материалов Международной научно-практической конференции. Саратов: Межрегиональный центр инновационных технологий в образовании. 2018. С. 180-185. EDN XNYQPR.
15. COPERT Versions [Электронный ресурс]. URL: <http://www.emisia.com/utilities/copert/versions/>.

Новиков Александр Николаевич

Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева

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

Д.т.н., профессор

E-mail: novikovan58@bk.ru

Жесткова Светлана Анатольевна

Пензенской государственный университет архитектуры и строительства

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

К.т.н., доцент

E-mail: s.zhestkova@yandex.ru

A.N. NOVIKOV, S.A. ZHESTKOVA

METHOD FOR FORMING «GREEN» ROUTES FOR CARGO DELIVERY BY ROAD TRANSPORT

Abstract. This article describes a methodology for determining optimal logistics routes for cargo delivery in the presence of significant restrictions. The process of forming routes is based on the use of the method of fictitious nodes and branches. The following limiting factors are considered: the possibility of reverse loading (return cargo), the limit of destinations on the route and the load capacity of the rolling stock used. The environmental assessment of the effectiveness of the developed methodology is carried out through the software package «COPERT».

Keywords: car, delivery, cargo, route, restrictions, mass fraction of emissions

BIBLIOGRAPHY

1. Abakarov A.A., Igitov S.H.M. Optimizatsiya zatrat na predpriyatiyakh avtomobil'nogo transporta v usloviyakh sovremennoy ekonomiki // Uchenye zapiski Krymskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta. 2024. №4(86). S. 274-279. EDN UUINTZ.
2. Antropov V.A., Sorokina E.M., Hokhlov A.G. O zadache kommvoyazhera // Ekonomika i predprinimatel'stvo. 2024. №7(168). S. 1246-1248. DOI 10.34925/EIP.2024.168.7.246. EDN XAXPTG.
3. Burkhovetskiy V.V., SHteynberg B.YA. Tochnoe i priblizhennoe resheniya zadachi kommvoyazhera bol'shogo razmera // Vychislitel'nye metody i programmirovaniye. 2024. T. 25. №4. S. 476-482. DOI 10.26089/NumMet.v25r436. EDN GAHSAT.
4. Deyanov D.A., Trofimenko YU.V. Metodika otsenki energopotrebleniya i vybrosov parnikovyykh gazov transportnym potokom na ulichno-dorozhnoy seti // Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI). 2024. №3(78). S. 68-77. EDN KCNOFL.
5. Evdonov G.N. Realizatsiya metoda vetvey i granits dlya resheniya zadachi kommvoyazhera so vspomogatel'nyim algoritmom lokal'noy optimizatsii v raspredelennykh setyakh // V mire nauchnykh otkrytiy. 2013. №6(42). S. 199-216. EDN QAWLDR.
6. Ivanov A.P. Logisticheskaya optimizatsiya dostavki gruzov na konteynernye terminaly // Logistika. 2023. №6(199). S. 11-15. DOI 10.54959/22197222_2023_06_11. EDN FXXRDO.
7. Kostyuk YU.L. Effektivnaya realizatsiya algoritma resheniya zadachi kommvoyazhera metodom vetvey i granits // Prikladnaya diskretnaya matematika. 2013. №2(20). S. 78-90. EDN QCAKVP.
8. Leshcheva M.M. Algoritmy resheniya zadachi kommvoyazhera // Nauchnomu progressu - tvorchestvo molodykh. 2018. №3. S. 200-203. EDN YLTQXJ.
9. Postnikov V.M., Spiridonov S.B. Podkhod k resheniyu zadachi kommvoyazhera priblizhennym metodom // Aspirant i soiskatel'. 2024. №4-5(143-144). S. 10-18. EDN AFCCZG.
10. Popov A.O. Issledovanie metodov zadachi kommvoyazhera v prilozhenii k marshrutnoy optimizatsii traektornykh zadach // Sovremennyye tekhnologii v nauke i obrazovanii - STNO-2025: Sbornik trudov VIII Mezhdunarodnogo nauchno-tekhnicheskogo foruma. V 10-ti tomakh. Ryazan': Ryazanskiy gosudarstvennyy radiotekhnicheskiiy universitet im. V.F. Utkina. 2025. S. 118-123. EDN RIMRUA.
11. Rizaev I.S., Zakharova Z.H., Osipova M.S. Metody resheniya zadachi kommvoyazhera // Nauka i tekhnologii: vchera, segodnya, zavtra: Sbornik nauchnykh statey. Krasnodar: Novatsiya. 2024. S. 269-273. EDN UFOSOA.
12. Sulyukova L.F., Akhmedzhanova Z.I. Algoritmy resheniya zadach marshrutizatsii transporta i ikh primeneniye v informatsionnykh sistemakh upravleniya gruzoperevozkami // Mezhdunarodnyy zhurnal teoreticheskikh i prikladnykh voprosov tsifrovyykh tekhnologiy. 2022. T. 2. №2. S. 40-52. DOI 10.34920/IJTAIDT/vol_2022_issue_2_4. EDN DUMTCA.
13. Trofimenko YU.V., Ginzburg V.A., Yakubovich A.N. [i dr.] Usovershenstvovannaya metodika raschetnogo monitoringa vybrosov parnikovyykh gazov ot deyatel'nosti avtomobil'nogo i vnedorozhnogo transporta v Ros-siyskoy Federatsii // Nauchnyy vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoy aviatsii. 2025. T. 28. №1. S. 78-96. DOI 10.26467/2079-0619-2025-28-1-78-96. EDN HLGHEZ.
13. Ul'yanov M.V., Fomichev M.I. Issledovanie osobennostey primeneniya kombinirovannogo algoritma dlya resheniya asimmetrichnoy zadachi kommvoyazhera // Informatsionnyye tekhnologii. 2021. T. 27. №1. S. 3-8. DOI 10.17587/it.27.3-8. EDN PFLQUU.
14. Tamozhnikov A.V., Chernyshov A.S., Tyurin I.YU., Levchenko G.V. Effektivnost' gruzovykh avtomobil'nykh perevozk v APK // Aktual'nye voprosy organizatsii avtomobil'nykh perevozk i bezopasnosti dvizheniya: Sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Saratov: Mezhhregional'nyy tsentr innovatsionnykh tekhnologiy v obrazovanii. 2018. S. 180-185. EDN XNYQPR.
15. COPERT Versions [Elektronnyy resurs]. URL: <http://www.emisia.com/utilities/copert/versions/>.

Novikov Alexander Nikolayevich

Orlov State University

Address: 302026, Russia, Orel, ul. Komsomolskaya, d. 95

Doctor of Technical Sciences, Professor

E-mail: novikovan58@bk.ru

Getzkova Svetlana Anatolevna

Penza State University of Architecture and Construction

Address: 440028, Penza, St. G. Titova, 28

Candidate of Technical Sciences, associate professor

E-mail: s.zhestkova@yandex.ru

Научная статья

УДК 656.02

doi: 10.33979/2073-7432-2025-4(91)-24-33

Ю.В. САВВИН

МЕТОДИКА ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ОТГРУЗКИ ПРОДУКЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРЕДПРИЯТИИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ: РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ

Аннотация. В статье представлена методика оптимального планирования отгрузок продукции автомобильным транспортом для металлургических предприятий. Разработанное решение основано на применении алгоритмов математической оптимизации и интеграции с потоками данных корпоративных информационных систем (ERP, TMS). Методика включает формализованный алгоритм планирования, архитектуру программного обеспечения, а также организационные изменения, учитывающие специфику отрасли. Апробация методики на реальном производственном объекте показала значительный экономический эффект - сокращение расходов на грузоперевозки на 2.4 %.

Ключевые слова: планирование отгрузок, автомобильный транспорт, металлургическое предприятие, математическая оптимизация, цифровизация, автоматизация

Введение

Неэффективное планирование грузоперевозок на металлургическом предприятии является существенным фактором роста операционных издержек и приводит к повышению стоимости продукции для конечного потребителя и потенциальной потере конкурентоспособности на рынке – до 50 % совокупных издержек связаны с организацией грузоперевозок [1]. Дополнительные затраты предприятия связаны с неполной загрузкой транспортных средств, неоптимальной маршрутизацией, человеческим фактором. В условиях необходимости учёта множества взаимосвязанных факторов задача планирования грузоперевозок в большинстве случаев не поддается эффективному решению с применением традиционных методов ручных вычислений и эмпирических подходов. Кроме того, высокая трудоемкость ручного планирования выступает одним из ключевых драйверов изменений в связи с повышающейся стоимостью труда [2] и его ограниченной производительностью.

Внедрение цифровых инструментов планирования грузовых перевозок позволяет повысить конкурентоспособность и улучшить финансовые показатели предприятия. Инвестиции в цифровизацию процесса доставки грузов особенно оправданы в металлургической промышленности, где ручное планирование грузоперевозок является неэффективным из-за широкой номенклатуры продукции и сложной логистической сети.

Научные труды таких ученых, как Чапанов И. А. [3], Зуева О. Н., Сидоренко А. М., Галактионов А. Д. [4], Некрасов С. И., Шитикова А. В., Апатенко А. С. [5], Зарипова Р. С., Рочева О. А., Хамидуллина Ф. Р., Арбузова М. В. [6], Курбатова А. В., Чернова В. В. [8] показали, что переход на цифровую концепцию управления перевозками грузов на предприятиях металлургии позволяет существенно повысить эффективность и качество обслуживания потребителей. При этом в рамках анализа выявлено отсутствие единого, стандартизированного подхода к процессу планирования автомобильных отгрузок в металлургической отрасли, который является критически важным звеном в цепи поставок. Разработка и внедрение единой методики позволит систематизировать разрозненные действия различных отделов предприятия, перевести логистические операции из режима реактивного реагирования в режим проактивного стратегического управления, позволяющего доставить груз потребителю максимально эффективным способом через оптимизацию всех ресурсов – транспортных,

временных, человеческих.

Целью данного исследования является разработка и апробация методики оптимального планирования отгрузки продукции автомобильным транспортом на металлургическом предприятии, обеспечивающей снижение расходов на грузоперевозки за счёт применения методов математической оптимизации и глубокой интеграции с корпоративными информационными системами.

Достижение цели осуществляется через:

1) разработку формализованного алгоритма, осуществляющего планирование грузоперевозок металлургической продукции на автотранспорте с учётом требований предприятия и специфики продукции, технических и эксплуатационных ограничений.

2) разработку архитектуры программного решения, принципов его интеграции с информационными системами ERP, TMS, MES и его реализации.

3) разработку поэтапной методики реализации проекта по внедрению решения, включающую организационные изменения и мероприятия по решению проблем и преодолению препятствий.

4) апробацию методики и программного решения на реальном производственном объекте и оценку её экономической эффективности согласно ключевым показателям, свойственным металлургической отрасли.

Научная новизна работы заключается в разработке комплексной методики, включающей как математический аппарат для решения задачи оптимального планирования с учётом ограничений предприятия, транспортных средств и иных критериев, архитектуру взаимодействия с источниками данных, так и перечень организационных изменений, специфичных для «консервативных» предприятий металлургической отрасли.

Материал и методы

Для реализации программного решения по оптимальному планированию отгрузок должна быть решена задача о назначении следующего вида. Имеется набор заказов продукции металлургического производства (рулоны, пачки листов) на перевозку продукции от центрального склада клиентам, расположенным в различных географических локациях. Необходимо автоматически сформировать такой план отгрузки и доставки, который обеспечит исполнение всех доставок с минимальными совокупными затратами при строгом соблюдении всего комплекса ограничений, а именно:

1) вся готовая к отгрузке продукция должна быть доставлена клиентам.

2) технические ограничения транспорта - загрузка каждого транспортного средства должна учитывать:

– ограничения по грузоподъемности, длине, ширине и высоте кузова;

– требования безопасности: нагрузка на оси тягача и полуприцепа не должна превышать установленные законодательством нормы. Данные требования критически важны для тяжелой металлической металлопродукции [7];

3) совместимость: тип транспортного средства (ТС) должен подходить для перевозки конкретного вида стальной продукции.

4) сетевые ограничения: при построении маршрутов необходимо учитывать ограничения по максимальной массе груженого ТС на отдельных участках дорог.

5) временные ограничения: груз должен быть доставлен к крайнему сроку, установленному клиентом. Допускается просрочка, но с применением финансовых штрафов, что влияет на общую экономическую эффективность плана.

6) использование доступного автопарка: планирование ведется исходя из наличия ТС на момент готовности продукции к отгрузке.

Данная задача является задачей комбинаторной оптимизации, время нахождения точного решения которой при растущем объёме входных данных увеличивается экспоненциально. Классические транспортные задачи, такие, как в исследовании [9] и иных статьях в области математической оптимизации не решают поставленную задачу, так как не учитывают множество специфичных критериев характерных для металлургической продукции и специ-

фики её перевозки. Для упрощения и ускорения поиска решения задачи используется многошаговый алгоритм, каждый шаг которого предусматривает решение отдельной подзадачи. При этом, разбиение решения полной задачи на последовательность подзадач не влияет на точность решения — в процессе решения рассматриваются все допустимые варианты перемещения, но предотвращается обработка большого множества недопустимых вариантов перевозки. Последовательность шагов алгоритма представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема шагов алгоритма по оптимальному планированию отгрузок продукции металлургического производства

В алгоритме выделены три крупных блока, на каждом из которых осуществляется фильтрация вариантов и решений с последующим выбором наилучшего.

1) формирование «укладок»: заказы группируются по географическим направлениям и комбинируются в допустимые комбинации для загрузки в один полуприцеп. Для каждой комбинации осуществляется проверка на соблюдение весогабаритных ограничений и расчет допустимой нагрузки на оси транспортного средства. Подходящие и не нарушающие требования комбинации («укладки») сохраняются для дальнейшего планирования;

2) формирование маршрутов: каждая «укладка» связывается с конкретным доступным транспортным средством и возможными дорогами до пункта назначения. На этом этапе рассчитывается стоимость перевозки по каждому варианту маршрута с учетом расстояния, времени, а также платности дорог. Отсекаются маршруты, не удовлетворяющие ограничениям по весу для конкретной дороги;

3) выбор оптимального набора рейсов: на финальном этапе из всего множества возможных маршрутов выбирается такое подмножество, которое обеспечивает перевозку всех заказов с минимальными совокупными затратами. Затраты включают как прямую стоимость перевозок, так и штрафы за возможные просрочки доставки. Этот этап гарантирует, что будет найден глобально оптимальный план для всего набора заказов, а не просто лучший вариант для каждого из них по отдельности.

На шаге 3 осуществляется формализация и решение задачи выбора рейсов в виде задачи линейного целочисленного программирования с последующим поиском оптимального решения с использованием решателей — специализированных программных инструментов для решения задач математической оптимизации.

В результате работы алгоритма формируется детальный план-график отгрузок, который включает:

- назначение конкретных, работающих на предприятии, транспортных средств на рейсы;
- маршруты следования, точное время подачи под погрузку, погрузки, выезда в рейс,

прибытия в пункт назначения, разгрузку и отправки в начальный пункт;

- состав груза – перечень заказов с указанием характеристик продукции, загружаемой в транспортные средства;
- расчетную стоимость каждого рейса и общие логистические расходы.

Реализация данного алгоритма и интеграция с источниками данных позволяет трансформировать ручной процесс планирования в автоматизированный, оптимальный и масштабируемый, что позволяет значительно сократить издержки предприятия на грузоперевозки и планирование, а также повысить уровень сервиса.

Теория / Расчет

Корректная работа программного решения, реализующего алгоритм оптимального планирования возможна только при условии его интеграции в информационную инфраструктуру предприятия, подключения к источникам данных для получения самой актуальной информации на момент планирования.

На рисунке 2 приведена схема потоков данных, применяемая для реализации инструмента планирования.

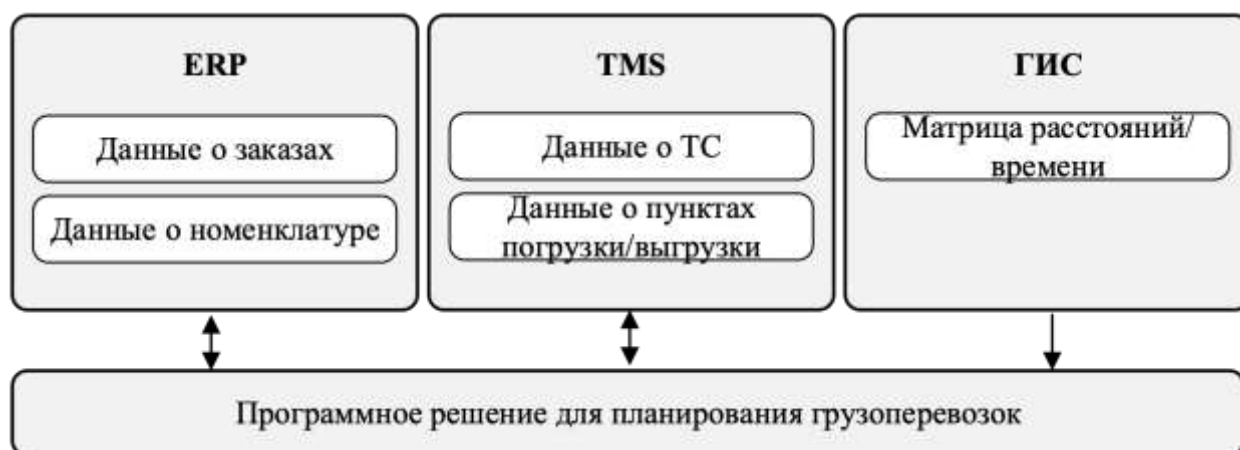


Рисунок 2 – Схема потоков данных для реализации решения автоматического планирования

Для функционирования алгоритмов требуется обеспечение сбора данных из следующих корпоративных информационных систем:

1) ERP-система (Enterprise Resource Planning). Данная система служит источником данных о заказах клиентов, продукции и её характеристиках, плановых сроках отгрузки;

2) TMS-система (Transportation Management System) предоставляет актуальные данные о транспортных средствах, их технических характеристиках, стоимости и доступности. Точный и своевременный учет этой информации позволяет осуществить предварительное формирование корректного доступного для планирования автопарка и рассчитать стоимость перевозок;

3) ГИС и картографические сервисы необходимы для построения маршрутов, расчета расстояний и времени в пути с учетом ограничений;

4) MES (Manufacturing Execution System) может быть использована для повышения точности оперативного планирования – определения ожидаемых сроков выпуска продукции для минимизации простоев транспорта в ожидании погрузки.

При обеспечении интеграции с данными системами формируется основа для построения эффективной системы планирования отгрузки продукции автотранспортом.

Процесс интеграции и обмена данных осуществляется через стандартизированные интерфейсы (API) и включают как ежедневное обновление справочников по транспортным средствам, их доступности, так и оперативное непрерывное обновление данных по продукции, готовой к отгрузке.

Кроме того, в рамках реализации проектов должны быть установлены достаточно строгие требования к качеству данных и их полноте. При отсутствии необходимых справоч-

ников на момент планирования может быть существенно искажён результат планирования, что приведёт к возникновению дополнительных расходов [10].

Перед разработкой и внедрением цифрового решения для планирования отгрузок на грузовом транспорте необходим анализ существующих бизнес-процессов и определение основных проблем предприятия в части отгрузки продукции [11]. На примере предприятия, на котором было осуществлено внедрение такого программного решения в процессы планирования в рамках бизнес-анализа были выявлены проблемы для последующего решения:

1) трудоёмкость процесса планирования. Работа с большим количеством информационных систем, источников данных, критериев, согласно которым осуществляется загрузка продукции в транспортные средства (приоритеты, графики работы) занимает значительное время специалистов и повышает вероятность ошибок - общее количество отгрузок составляет более 40 000 ежегодно;

2) неоптимальная загрузка транспортных средств через «ручной» подбор металлопродукции для загрузки на основе опыта специалистов, приводящая к недостаточному объёму загрузки транспортных средств и упущенной выгоде;

3) недостаточный уровень клиентского сервиса из-за несвоевременного информирования клиента, так как оно осуществлялось только по факту отгрузки, а также нередким срывам сроков поставки (снижению показателя OTIF (On-Time In-Full) – показывает, насколько точно соблюдаются сроки доставки). Это приводило к сложностям с принятием и выгрузкой груза на стороне клиента в требуемое время и снижению уровня лояльности клиента;

4) планирование потребности в подвижном составе и перевозок осуществляется на основе календарного плана производства с 30% «отсутствующих» заказов, требуется алгоритмизация и автоматизация процесса планирования потребности в подвижном составе и перевозок на основе подтвержденных заказов и прогнозной потребности на месяц;

5) отсутствует алгоритм балансировки мощностей приемки/отгрузки на складах предприятия;

6) на предприятии не введена система тайм-слотирования (отгрузки не графируются по часам);

7) отсутствует единый источник информации о приоритетах и графиках работы клиентов для всех сотрудников предприятия.

Внедрение инструмента позволяет автоматизировать многие рутинные операции специалиста по планированию, учесть все факторы при планировании погрузки продукции в транспортное средство, выбрать оптимальную комбинацию продукции, которая более эффективно использует вместимость транспорта, а также своевременно проинформировать клиента о предстоящей доставке.

После предварительного бизнес-анализа в рамках проекта осуществляется техническая подготовка, которая состоит из следующих шагов:

1) разработка требований к инструменту планирования — в данном документе указаны все требования как со стороны бизнес-процессов, так и со стороны технических ограничений и ограничений безопасности, учтены все требования к данным, которые должны использоваться при работе инструмента планирования, определены источники данных - информационные системы;

2) проверка наличия всех необходимых для планирования данных в учётных системах;

3) разработка прототипа программного решения и интеграция с системами-источниками данных;

4) проведение обучающих мероприятий для сотрудников в целях обеспечения дальнейшего использования инструмента на регулярной основе;

5) обеспечение регулярного использования программного решения для оптимального планирования, непрерывный контроль исполнения решений, предлагаемых информационной

системой и непрерывный мониторинг экономического эффекта с целью оперативного внесения изменений в процесс при отклонениях или недостижении целевых показателей.

Внедрение информационного решения – это не просто ИТ-проект, но и трансформация деятельности как отдельных подразделений предприятия, так и целой компании [12]. Без внедрения организационных изменений алгоритмы не позволят достичь планируемого эффекта.

Наряду с внедрением технических решений, включающих внесение данных о заказах в ERP-систему и контроль автопарка в TMS-системе, успешная реализация методики оптимального планирования требует проведения организационных изменений, направленных на обеспечение строгого соблюдения плана отгрузок и достижения целевых показателей эффективности транспортных операций.

В рамках процесса планирования реализация методики на уровне исполнителей осуществляется через непрерывное циклическое выполнение следующих шагов:

- 1) предварительное планирование (анализ заказов и ресурсов);
- 2) разработка сценариев (выбор типа перевозки, построение маршрутов);
- 3) оперативное исполнение и мониторинг (координация, отслеживание);
- 4) анализ эффективности (KPI, обратная связь).

Этап предварительного планирования является фундаментальным для успеха последующих операций. Его ключевая задача - сбор и анализ исчерпывающей информации для формирования взвешенных управленческих решений. Процесс включает:

1) консолидацию и стандартизацию заявок от отдела продаж с полным набором данных (реквизиты, адреса, номенклатура, вес, габариты, сроки). Данные отдела продаж вносятся в информационную систему ERP, откуда далее с использованием интеграционных протоколов поступают в алгоритм планирования;

2) группировку заказов по географическому направлению, приоритету и специфическим требованиям к перевозке;

3) аудит ресурсов: анализ доступного транспорта (собственного и привлеченного) и оценку складских мощностей (остатки, загруженность рампы, график работы персонала).

На основе агрегированных данных определяются параметры отгрузок: продукция, тип подвижного состава и требования к документации. Результатом этапа являются сводный план-график отгрузок, согласованный со всеми заинтересованными сторонами.

На этапе разработки сценариев отгрузки осуществляется трансформация сводного плана в технико-экономически обоснованные маршруты и производственные задания с применением алгоритмов оптимального планирования отгрузки. Критически важным элементом является выбор схемы транспортировки:

- полногрузовые перевозки (FTL) для обеспечения сохранности и срочности доставки;
- специализированные решения для негабаритных, опасных и ценных грузов.

С использованием алгоритма оптимального планирования, описанного в данной статье ранее и геоинформационных сервисов выполняется построение маршрутов, оптимизированных по критериям расстояния, временных затрат, дорожных ограничений. Результатом этапа является автоматически созданный пакет технологической документации, включающий маршрутные листы, погрузочные ведомости.

Этап исполнения и мониторинга представляет собой операционную реализацию утвержденных планов с организацией непрерывного контроля ключевых показателей. Процесс начинается с формирования полного пакета транспортных документов, включая товарно-транспортные накладные и сопроводительные документы. Организация погрузочных операций осуществляется в строгом соответствии с утвержденными графиками и схемами размещения грузов, с обязательным контролем весовых параметров и визуальным осмотром. Для мониторинга транспортных средств в режиме реального времени применяются системы спутникового слежения, интегрированные в TMS-платформу. Оперативное управление отклонениями обеспечивается за счет непрерывного прогнозирования времени прибытия, своевременной корректировки маршрутов и координации взаимодействия с клиентами и ис-

полнителями. Все данные о выполнении рейсов систематически фиксируются в единой информационной системе для последующего анализа и совершенствования логистических процессов.

Пост-оперативный (Заключительный) этап управления завершает операционный цикл, обеспечивая непрерывное совершенствование логистических процессов на основе анализа объективных данных. После выполнения рейсов осуществляется сбор и систематизация фактических показателей, включая километраж, время в пути, расход топлива, эксплуатационные затраты и рекламации клиентов. На основе этих данных рассчитываются ключевые показатели эффективности, такие как коэффициент использования грузоподъемности, соблюдение сроков доставки и себестоимость перевозок.

На этом этапе также проводится сравнительный анализ плановых и фактических показателей с идентификацией системных отклонений и определением их причин. Результаты анализа оформляются в виде регулярных отчетов, отражающих эффективность логистических операций и направления для оптимизации.

Важным элементом этапа является организация обратной связи со всеми участниками цепи поставок. Взаимодействие с коммерческими, складскими и транспортными подразделениями позволяет выработать корректирующие мероприятия, которые интегрируются в методику планирования. Это обеспечивает переход на новый уровень эффективности при повторении управленческого цикла.

Методика оптимального планирования отгрузки продукции автомобильным транспортом разработана с целью создания единого, стандартизированного подхода к процессу планирования автомобильных отгрузок и направлена на снижение общих логистических затрат, повышение коэффициента использования транспорта, минимизацию простоев и гарантированное соблюдение сроков доставки, что напрямую влияет на удовлетворенность клиентов и укрепление деловой репутации компании [13].

Результаты

Эффективность применения разработанной методики планирования отгрузки продукции автомобильным транспортом подтверждается улучшением ключевых показателей предприятия в части грузоперевозок в течение одного года мониторинга после окончания проекта по внедрению (в течение 2024 года).

Так, реализация проекта по внедрению решения по оптимальному планированию позволила сократить суммарные ежегодные расходы на перевозку металлопродукции на 2,4%, повысив при этом среднюю нагрузку на транспортные средства и ускорив процесс планирования.

Экономический эффект достигнут за счет:

1) увеличения средней загрузки транспортного средства грузоподъемностью 21 т на 10% (с 18 т до 20 т). При увеличении загрузки транспортных средств сокращается суммарная потребность в транспортных средствах;

2) управления точностью поставки - повышение уровня OTIF в соответствии с контрактными обязательствами, соответствие планового и фактического срока доставки, сокращения фактического срока отгрузки со склада;

3) сокращения сроков оборачиваемости запасов на складе с 11 до 9 суток. Оптимизация затрат на хранение составила 25 %;

4) управление обещаниями и информированием: увеличения показателя удовлетворенности клиентов за счет заблаговременного информирования статуса и прогноза отгрузки с 78 % до 89 %; увеличение горизонта планирования отгрузок с 1 суток до 5 суток; повышение уровня детализации прогнозов отгрузки на горизонте трёх суток (тип подвижного состава/направление);

5) сокращения трудозатрат на планирование отгрузки и подготовку документов на грузоперевозку через применение рекомендательных алгоритмов и автоматизацию процес-

сов с 6 часов до 15-20 минут.

В таблице 1 приведены основные показатели до и после внедрения оптимизатора.

Таблица 1 – Основные показатели управления точностью поставки до и после внедрения инструмента

КПЭ	До внедрения	После внедрения
ОТІГ	83,4 %	85 %
Своевременность закрытия заявок	95 %	100,00 %
Своевременность подачи машин на склады	78 %	90 %
Своевременность прибытия машин на выгрузку к клиенту	90 %	99,9 %
Подача заявок в регламенте	90 %	93,4 %
Соблюдение нормативов на погрузку и оформление ТС на складе	90 %	95 %
Соблюдение нормативов по выгрузке машин у клиентов	85 %	98,5 %

Дальнейшее развитие и оптимизация процессов, направленная на автоматизацию и контроль исполнения плана, позволит усилить этот эффект, по оценкам, еще на 1,1%. По результатам реализации проекта и мониторинга экономического эффекта в течение 12 месяцев срок окупаемости составил 100 дней.

Стоит отметить, что программное решение для планирования отгрузок позволило автоматизировать следующие процессы в рамках цепочки ценностей:

- получение информации: введение информации по приоритетам отгрузки, ведение графика работы клиента;
- формирование поставок и транспортировки в виде внутренних электронных документов: формирование рекомендаций к отгрузке, автоматическое создание поставок (внутренний документ), автоматическое создание и планирование транспортировок (внутренний документ);
- доставка продукции: занесение информации по водителю и ТС, формирование внутренних документов на перевозку, автоматическое предоставление клиенту информации об отгрузках.

Обсуждение

Внедрение данной методики планирования позволит перейти от точечного управления отдельными рейсами к комплексному управлению транспортными потоками компании, создавая значительное конкурентное преимущество.

Металлургия является «консервативной» отраслью с непрерывным циклом производства и все трансформационные процессы происходят, зачастую, со значительным количеством попутных проблем [14]. Приведём перечень основных препятствий при внедрении цифрового решения, организационных изменений и пути их решения в рамках внедрения цифрового помощника по планированию (табл. 2).

Таблица 2 - Внедрение цифрового решения: основные проблемы и методы их решения

№	Описание проблемы	Метод решения
I. Программные и инфраструктурные проблемы		
1	Интеграция со сторонними системами и сложность координации между ведомствами	Детальный аудит существующих интеграционных протоколов на наличие, существующих для избегания дублирования.
2	Проблемы наличия необходимых данных или их полноты и качества. Решение:	Корректировка процессов работы с учётными системами как на техническом уровне, так и на организационном.

II. Сложности внедрения на местах		
3	Игнорирование требований к использованию инструмента планирования оптимальной отгрузки со стороны сотрудников.	Ограничение использования ключевых функций информационных систем, необходимых для осуществления отгрузки при факте обхода требования использования автоматического планирования.
4	Сопротивление изменениям, саботаж нововведений	<p>Работа по обновленному процессу включается в KPI цехов и сотрудников с последующей мотивацией. Технический аудит – контроль и фиксация факта работы по обновлённому процессу. Сбор обратной связи.</p> <p>Внедрение автоматического контроля плана и факта по отгруженной продукции на программном уровне (регулярная аналитическая отчётность) и методов дисциплинарного воздействия на ответственных сотрудников при существенных отклонениях.</p>
III. Принятие управленческих решений		
5	Обоснование проекта и последующих изменений, оценка эффекта	Проведение пилотного проекта, позволяющего в рамках ограниченного бюджета подтвердить или опровергнуть гипотезы по потенциальному эффекту и изменениям.

Выводы

На основе анализа современных подходов к решению транспортных задач, включая применение методов математической оптимизации и интеграцию с корпоративными информационными системами, автором разработана методика оптимального планирования отгрузки металлопродукции автотранспортом, целью которой является оптимизация операционных расходов.

Достижение поставленной цели обеспечивается интеграцией инструмента планирования загрузки и маршрутизации автотранспорта с использованием методов математической оптимизации в производственные и логистические процессы предприятия. Ядром решения задачи является оптимизационная математическая модель, реализующая оптимальное распределение транспортных средств для перевозки готовой продукции с одновременным определением маршрутов доставки с минимально возможными операционными затратами. Разработанная методика предусматривает двустороннюю интеграцию с корпоративными информационными системами класса ERP, TMS, а также ГИС, что позволяет оперативно получать актуальные данные о параметрах заказов и характеристиках подвижного состава на момент формирования плана отгрузок.

Внедрение методики на металлургическом предприятии принесло значительный экономический эффект. За 12 месяцев расходы на перевозки сократились на 2,4% благодаря увеличению загрузки транспорта на 10% и сокращению времени планирования с 6 часов до 15-20 минут. Существенно улучшились ключевые показатели: показатель OTIF увеличен до 85%, своевременность подачи машин на склады — до 90%, а удовлетворенность клиентов — до 89%. Дополнительный эффект был достигнут за счет сокращения оборачиваемости запасов на складе с 11 до 9 суток и оптимизации затрат на хранение на 25%. Расчетный срок окупаемости инвестиций в проект составил 100 дней.

Рекомендации по применению методики предусматривают ее внедрение как единого стандарта для всех отделов. Методика структурирована в четыре этапа: предварительное планирование (анализ заказов и ресурсов), разработка сценариев (выбор типа перевозки, построение маршрутов), оперативное исполнение и мониторинг (координация, отслеживание), а также анализ эффективности (KPI, обратная связь).

Внедрение позволяет автоматизировать ключевые процессы, перейти от реактивного управления к проактивному и достичь значительной экономии ресурсов. Ключ к успеху – комплексный подход, обязательность выполнения рекомендаций и непрерывное совершен-

ствование цикла на основе объективных данных.

Предложенная методика имеет практическую ценность и может быть использована специалистами на предприятиях с учётом специфики конкретного предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гончарова А.А., Косяков С.В. Разработка программного комплекса оптимального планирования грузоперевозок // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2005. №4. С. 46-49. EDN ZGWUAP.
2. Траты на персонал в отрасли с начала года выросли до 40% // Коммерсантъ. 2024.
3. Чапанов И.А. Моделирование геоинформационной системы маршрутизации горнодобывающего предприятия на основе логистического подхода // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2016. №6. С. 389-397. EDN WDWZVBH.
4. Зуева О.Н., Сидоренко А.М., Галактионов А.Д. Имитационное моделирование доставки грузов с помощью сменных кузовов // Управленец. 2017. №6(70). С. 80-86. EDN YOCSSWY.
5. Некрасов С.И., Шитикова А.В., Апатенко А.С. Оптимизация перевозки сельскохозяйственной продукции с применением технологий имитационного моделирования // Агроинженерия. 2024. №6. С. 36-43. DOI 10.26897/2687-1149-2024-6-36-43. EDN FYXTFV.
6. Зарипова Р.С., Рочева О.А., Хамидуллина Ф.Р., Арбузова М.В. Внедрение цифровых технологий как фактор повышения эффективности работы транспортно-логистических систем // International Journal of Advanced Studies. 2021. Т. 11. №2. С. 100-114. DOI 10.12731/2227-930X-2021-11-2-100-114. EDN VEIHRT.
7. Отраслевой дорожный методический документ. Рекомендации по определению параметров расчетных нагрузок для современных транспортных средств: ОДМ 218.2.062-2015 / Федеральное дорожное агентство (Росавтодор). М., 2019.
8. Курбатова А.В., Чернова В.В. Выбор вида транспорта при перевозке готовой продукции черной металлургии // Вестник университета. 2014. № 5. С. 86-90. EDN SEPHNH.
9. Баходиров Н.И., Мирходжаева Н.Ш., Пошаходжаева Г.Д. Транспортная задача: определение оптимального плана // Экономика и социум. 2025. №2-2(129). С. 266-272. EDN PEZFDA.
10. Курганов В.М., Рассоха В.И., Грязнов М.В., Дорофеев А.Н. Бережливое мышление и ситуационное управление в оценке потерь провозной способности автомобильного парка // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2024. №2. С. 56-65. DOI 10.25198/2077-7175-2024-2-56. EDN EOPSHZ.
11. Мукаев В.Н. Методика повышения производительности автомобилей при транспортном обслуживании металлургического предприятия // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2023. №4. С. 58-71. DOI 10.25198/2077-7175-2023-4-58. EDN UTFHXA.
12. Гнедкова М.А. Совершенствование стратегического планирования цифровой трансформации в сфере транспорта и логистики субъектов Российской Федерации // Вестник Поволжского института управления. 2024. Т. 24. №4. С. 4-13. DOI 10.22394/1682-2358-2024-4-4-13. EDN CYHTBX.
13. Шемякин А.В., Мартынушкин А.Б., Лозовая О.В. [и др.] Комплексная цифровизация на предприятиях автомобильного транспорта: перспективы внедрения // Грузовик. 2023. №6. С. 30-34. DOI 10.36652/1684-1298-2023-6-30-34. EDN PZKKNN.
14. Губачева Л.А., Макарова И.В., Михайлов Д.В., Приходько В.П. Большие системы: функциональные задачи транспорта металлургических предприятий // Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация. 2023. №2(94). С. 27-36. EDN VZLZSV.

Саввин Юрий Викторович

Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева

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

Соискатель

E-mail: service_repair@oreluniver.ru

Yu.V. SAVVIN

METHODOLOGY OF OPTIMAL PLANNING OF SHIPMENT OF PRODUCTS BY ROAD AT A METALLURGICAL ENTERPRISE IN THE CONTEXT OF DIGITALIZATION: DEVELOPMENT AND TESTING

Abstract. The article presents a methodology for optimal planning of shipments of products by road for metallurgical enterprises. The developed solution is based on the use of mathematical optimization algorithms and integration with the data flows of corporate information systems (ERP,

TMS). The methodology includes a formalized planning algorithm, software architecture, and organizational changes tailored to the specifics of the industry. Testing of the methodology at a real production facility showed a significant economic effect - a 2.4% reduction in freight transportation costs.

Keywords: shipment planning, road transport, metallurgical enterprise, mathematical optimization, digitalization, automation

BIBLIOGRAPHY

1. Goncharova A.A., Kosyakov S.V. Razrabotka programmnogo kompleksa optimal'nogo planirovaniya gruzoperevozk // Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta. 2005. №4. S. 46-49. EDN ZGWUAP.
2. Traty na personal v otrasli s nachala goda vyrosli do 40% // Kommersant". 2024.
3. Chapanov I.A. Modelirovanie geoinformatsionnoy sistemy marshrutizatsii gornodobyvayushchego predpriyatiya na osnove logisticheskogo podkhoda // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tehnicheskii zhurnal). 2016. №6. S. 389-397. EDN WDVZVBH.
4. Zueva O.N., Sidorenko A.M., Galaktionov A.D. Imitatsionnoe modelirovanie dostavki gruzov s pomoshch'yu smennykh kuzovov // Upravlenets. 2017. №6(70). S. 80-86. EDN YOCSWY.
5. Nekrasov S.I., Shitikova A.V., Apatenko A.S. Optimizatsiya perevozki sel'skokhozyaystvennoy produktsii s primeneniem tekhnologiy imitatsionnogo modelirovaniya // Agroiinzheneriya. 2024. №6. S. 36-43. DOI 10.26897/2687-1149-2024-6-36-43. EDN FYXTFV.
6. Zaripova R.S., Rocheva O.A., Hamidullina F.R., Arbuzova M.V. Vnedrenie tsifrovyykh tekhnologiy kak faktor povysheniya effektivnosti raboty transportno-logisticheskikh sistem // International Journal of Advanced Studies. 2021. T. 11. №2. S. 100-114. DOI 10.12731/2227-930X-2021-11-2-100-114. EDN VEIHRT.
7. Otrassevoy dorozhnyy metodicheskiy dokument. Rekomendatsii po opredeleniyu parametrov raschetnykh nagruzok dlya sovremennykh transportnykh sredstv: ODM 218.2.062-2015 / Federal'noe dorozhnoe agentstvo (Rosavtodor). M., 2019.
8. Kurbatova A.V., Chernova V.V. Vybor vida transporta pri perevozke gotovoy produktsii chernoy metallurgii // Vestnik universiteta. 2014. № 5. S. 86-90. EDN SEPHNH.
9. Bakhodirov N.I., Mirkhodzhaeva N.SH., Poshakhodzhaeva G.D. Transportnaya zadacha: opredelenie optimal'nogo plana // Ekonomika i sotsium. 2025. №2-2(129). S. 266-272. EDN PEZFDA.
10. Kurganov V.M., Rassokha V.I., Gryaznov M.V., Dorofeev A.N. Berezhlivoe myshlenie i situatsionnoe upravlenie v otsenke poter' provoznoy sposobnosti avtomobil'nogo parka // Intellekt. Innovatsii. Investitsii. 2024. №2. S. 56-65. DOI 10.25198/2077-7175-2024-2-56. EDN EOPSHZ.
11. Mukaev V.N. Metodika povysheniya proizvoditel'nosti avtomobiley pri transportnom obsluzhivaniy metallurgicheskogo predpriyatiya // Intellekt. Innovatsii. Investitsii. 2023. №4. S. 58-71. DOI 10.25198/2077-7175-2023-4-58. EDN UTFHXA.
12. Gnedkova M.A. Sovershenstvovanie strategicheskogo planirovaniya tsifrovoy transformatsii v sfere transporta i logistiki sub"ektov Rossiyskoy Federatsii // Vestnik Povolzhskogo instituta upravleniya. 2024. T. 24. №4. S. 4-13. DOI 10.22394/1682-2358-2024-4-4-13. EDN CYHTBX.
13. Shemyakin A.V., Martynushkin A.B., Lozovaya O.V. [i dr.] Kompleksnaya tsifrovizatsiya na predpriyatiyakh avtomobil'nogo transporta: perspektivy vnedreniya // Gruzovik. 2023. №6. S. 30-34. DOI 10.36652/1684-1298-2023-6-30-34. EDN PZKKNN.
14. Gubacheva L.A., Makarova I.V., Mikhaylov D.V., Prihod'ko V.P. Bol'shie sistemy: funktsional'nye zadachi transporta metallurgicheskikh predpriyatiy // Sotsial'no-ekonomicheskie i tekhnicheskie sistemy: issledovanie, proektirovanie, optimizatsiya. 2023. №2(94). S. 27-36. EDN VZLZSV.

Savvin Yuri Viktorovich

Orel State University

Address: 302030, Russia, Orel, Moskovskaya St., 77

The applicant

E-mail: service_repair@oreluniver.ru

Научная статья

УДК 658.5.012.1

doi: 10.33979/2073-7432-2025-4(91)-35-40

В.Е. МАРЧЕНКО, В.В. СТРАШНОЙ

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ ЛОГИСТИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Аннотация. В нынешних условиях развития экономики любое промышленное предприятие работает над повышением эффективности своей деятельности, в частности, путём уменьшения затрат и увеличения объёмов выпускаемой продукции. В статье представлена математическая модель для оптимизации логистических издержек промышленного предприятия с филиальной структурой с внедрением нового коэффициента готовности логистической системы. Модель учитывает спрос на товарно-материальные ценности в филиалах, стремится минимизировать финансовые и временные затраты, а также сокращает транспортные расходы. Предложенная модель универсальна и может быть адаптирована для промышленных предприятий всех видов с распределённой логистической сетью.

Ключевые слова: промышленное предприятие, логистическая система, логистическая сеть, филиальная структура, малооборачиваемые запасы, готовность логистической системы

Введение

В условиях мирового кризиса и санкций крупнейшие промышленные предприятия России сталкиваются с необходимостью минимизации расходов, что позволяет избежать сохранения конкурентоспособность и показывать положительный финансовый результат своей деятельности. Для большинства предприятий логистические издержки составляют 25-40 % итоговой стоимости продукции для потребителя [1]. Таким образом, эффективное построение логистических процессов имеет ключевое значение.

Материал и методы

За последние годы логистика в России стремительно развивается как область прикладной науки. Современные исследователи уделяют внимание основным концепциям и терминологии логистики, а также разрабатывают, совершенствуют и структурируют уже существующие методики [2]. В данном контексте особенно важным становится создание моделей, которые рассматривают логистические процессы в динамике и охватывают несколько этапов поставок.

Несмотря на первостепенную роль аналитики в логистике, многие компании всё ещё применяют примитивные модели [5]. Исследователи выделяют несколько стадий развития логистических концепций на предприятиях:

1) на начальной стадии логистика ограничивается задачей хранения и перевозки или сбыта готовой продукции, учитывая при этом изменения спроса на товар;

2) на второй стадии добавляются функции обслуживания, обработки заказов и планирования складских операций, что позволяет охватить все аспекты дистрибуции. Основной упор делается на автоматизацию процессов и снижение затрат;

3) на третьей стадии развития дополнительно добавляется прогнозирование объёмов продаж, управление процессами закупки и проектирование всей логистической структуры. В этот период также начинают внедрять стандарты качества;

4) на четвёртом этапе все функции логистики интегрируются, предприятия выходят на международный уровень, появляется необходимость учитывать законодательные требования других стран.

Математическое моделирование - процесс, в ходе которого реальному объекту подбирается подходящий математический аналог, получивший название математической модели. В сфере логистики чаще всего применяются два основных типа такого моделирования: аналитическое и имитационное [3]. Основные типы моделей в логистике приведены на рисунке 1.

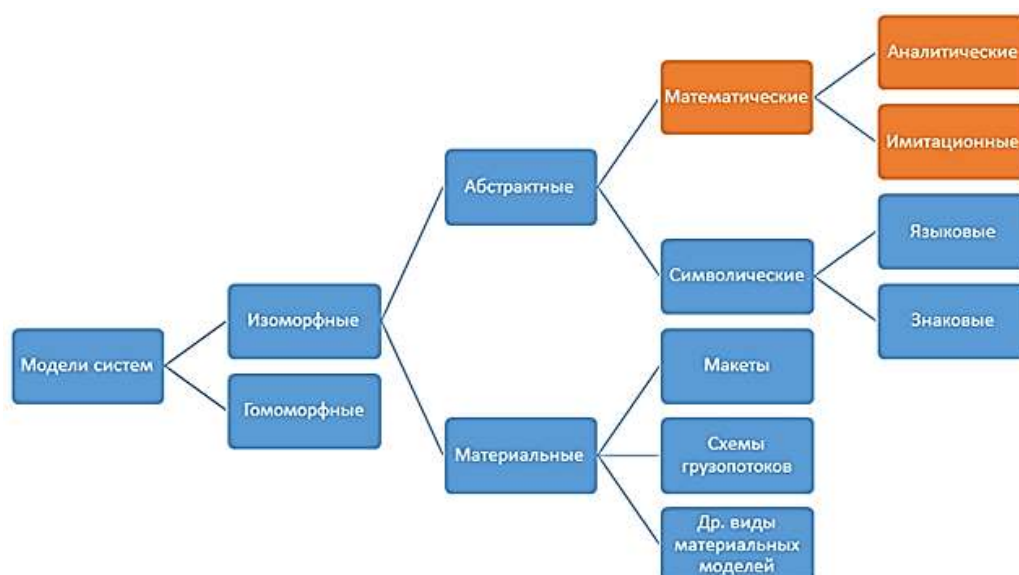


Рисунок 1 – Типы моделирования в логистике

Моделирование процессов поставки ТМЦ по обособленным подразделениям предприятия, расположенных на территории России основывается на спросе и зависит от многих факторов [4].

В статье рассматривается вопрос разработки модели, которая позволит управлять и оптимизировать поставки ТМЦ как в по складам предприятия, так и между ними.

Предлагаемая модель может быть апробирована на крупнейших промышленных предприятиях России с непрерывными перевозками продукции из головного офиса в обособленные подразделения исходя из спроса [6].

Для разработки модели необходимо определить условия, при которых данная модель будет эффективной.

Теория

Для того, чтобы регулировать логистическую систему в части поддержания всех её элементов на оптимальном уровне необходимо ввести коэффициент, который сможет оценить насколько эффективно и современно функционирует логистическая система в компании [4].

Чем выше коэффициент – тем более оптимизированы процессы планирования, закупки, хранения, транспортировки и управления запасами, однако стоит учесть и ограничения, так как имеется риск увеличения объёма малооборотистости товаров, и как следствие, увеличение денежных издержек. Представим данный коэффициент как «К» – коэффициент готовности логистической системы, учитывающий множество ключевых факторов [7]. Среди них – степень автоматизации процессов, степень интеграции информационных систем, качество взаимодействия между подразделениями, а также гибкость реагирования на изменения спроса и рыночных изменений.

Предложенный коэффициент объективно даёт понять, где узкие места и что можно улучшить. Можно сказать, что это не только математический инструмент, но и инструмент для стратегического развития. Он позволяет не только измерить текущий уровень логистики, но и выбрать направления для роста, повысить конкурентоспособность и снизить издержки.

Логистическая система промышленных предприятий с обособленными подразделениями сложнее, но при этом открывает новую возможность для оптимизации и контроля бизнес-процессов [9]. На рисунке 2 представлен пример расположения обособленных подразделений предприятия. Отчётливо видно, что подразделения располагаются в местах высокой доступности для использования мультимодальных перевозок, что делает существующую логистическую систему гибкой и приспособленной к возможным изменениям [8].



Рисунок 2 – Пример расположения обособленных подразделений крупнейших промышленных предприятий

Расчёт

Для построения математической модели с учётом потребности обособленных подразделений в материалах и их взаимозаменяемости, нужно учесть следующие особенности [10]:

- 1) есть один пункт производства продукции I (индекс для производства, например, i);
- 2) есть несколько обособленных подразделений G , каждое из которых нуждается в определённом количестве материалов;
- 3) максимальный объём производства - A пункта I ;
- 4) минимальный объём, который должен быть отправлен в обособленные подразделения - B ;
- 5) максимальный разовый объём материалов, которые могут доставить из пункта I в обособленные подразделения – C .

Обозначения:

I - пункт производства продукции (индекс i);

G - обособленное подразделение (индекс g);

A - максимальный объём производства в пункте производства i ;

B - минимальный объём, который должен быть отправлен на склад g ;

C - максимальное количество продукта, которое можно доставить из пункта i в обособленное подразделение g .

Расчёт коэффициента готовности логистической системы по заданным параметрам можно представить как функцию от этих параметров:

$$K = \frac{\sum_{i \in I} \sum_{g \in G} \min(A_i C_{ig})}{\sum_{g \in G} B_g},$$

где $\sum_{i \in I} \sum_{g \in G} \min(A_i C_{ig})$ - количество материалов можно доставить с учётом ограничений производства и транспортировки;

$\sum_{g \in G} B_g$ – общий минимально необходимый объём материалов для всех обособленных подразделений.

При этом, если $K = 1$, то система полностью удовлетворяет потребности подразделений.

Произведём расчёт.

Исходные данные:

$I=1$;

$G=16$;

$A=10000$ ед.

$B=1000$ ед.

$C=500$ ед.

Подставляя исходные данные получаем, что каждое подразделение получаем максимум $C=500$ ед., так как $C < A$, предельное количество материалов для доставки в одну кладовую $\min(10000, 500) = 500$ ед. По всем подразделениям $= 16 \cdot 500 = 8000$ ед. Суммарная минимальная потребность всех подразделений $= 16 \cdot 10000 = 16000$ ед. Тогда Коэффициент зрелости равен:

$$K = \frac{8000}{16000} = 0,5.$$

При значении $K=0,5$ можно сделать вывод, что существующая система может обеспечить только 50 % минимальных потребностей обособленных подразделений.

Введём новое условие, когда между подразделениями можно перевозить материалы исходя из потребности. Введём параметр T_{gh} - максимальное количество материалов, которое можно перевезти из подразделения g в подразделение h .

Рассчитаем объём материалов, которые могут быть в кладовой h :

$$Q_h = (A, C_{ih} + \sum_{g \in G} T_{dh}),$$

где C_{ih} - максимальное количество материалов, которое можно доставить из пункта производства продукции;

$\sum_{g \in G} T_{dh}$ - максимальное количество материалов, которые могут быть привезены из других подразделений (исходя из количества и вместимости транспорта, а также потребности).

$$Q_{total} = \sum_{h \in G} Q_h;$$

$$K = \frac{Q_{total}}{\sum_{g \in G} B_g}.$$

В новой приведённой формуле учитывается, что обособленной подразделение пополняется материалами не только напрямую с предприятия, но и за счёт других подразделений.

В данном случае $K \geq 1$, что покрывает все минимальные потребности подразделений с запасом. Однако, если не проработать лимит запасов, находящихся в подразделениях – предприятие может столкнуться с издержками малооборачиваемости [11].

Введём новый параметр M – параметр малооборачиваемости, при котором $0,7 \leq K \leq 1$, а также установим ограничение по времени доставки материалов – $V_{ху}$. Также учитываем, что для определения оптимальности системы необходимо учитывать стоимость доставки материалов для обеспечения потребностей за выбранный промежуток времени [12].

Тогда итоговая модель будет иметь вид:

$$K = \frac{\min(\sum_{h \in G} \sum_{i \in I} v_{ih} C_{ih} + \sum_{g \in G} \sum_{gh} v_{gh} T_{gh, \sum_{i \in I} A_i})}{\sum_{g \in G} B_g} \leq 1 \text{ при } M \leq 1.$$

Результаты и обсуждение

1. Предложенная модели способствует снижению расходов на логистику и способна исключить неэффективные маршруты, снизив финансовые издержки.

2. Оптимизация маршрутов позволяет ускорить срок доставки материалов и покрыть имеющуюся потребность.

3. Данная модель наглядно показывает слабые места, а также позволяет быстро реагировать на изменения, происходящие в системе.

4. Повысить качество логистики позволяет внедрение современных информационных технологий, адаптированных к конкретным характеристикам данного региона.

5. В результате проведённого исследования была построена математическая модель распределения продукции между производственным пунктом и обособленными подразделениями с учётом всевозможных ограничений. Наглядно показано, что предложенный коэффициент готовности логистической системы позволяет учесть и оптимизировать издержки, а также является универсальным [13]. Применение данной модели позволяет выявлять критические точки системы, связанные с добавлением/уменьшением числа ограничивающих параметров.

Выводы

Стремительное развитие распределительной логистики в России происходит благодаря цифровизации, росту электронной коммерции и внедрению новых технологий. Основные направления – автоматизация транспортных операций, интеграция ИТ-решений для отсле-

живания грузов, оптимизация маршрутов и развитие омниканальных каналов доставки. Важными трендами остаются экологичность логистики, сокращение расходов и времени доставки, а также развитие распределительных (обособленных) центров [14].

Рассмотренный в статье коэффициент готовности логистической системы является показателем её эффективности и помогает моделировать систему таким образом, что снизить затраты, минимизировать временные потери и повысить прозрачность цепи поставок. Своевременное обнаружение неэффективных участков маршрутов, а также оптимизация загрузки обособленных подразделений прямым образом влияет на себестоимость логистических операций [15].

В дальнейшем, развитие и совершенствование предложенной модели позволит применять её для комплексной оценки развития логистических систем, выявления точек роста и построения поэтапной стратегии их совершенствования – от ручных операций до полной автоматизации и цифровой интеграции [16]. Такой подход позволит промышленным предприятиям России повысить устойчивость и гибкость цепей поставок, а также обеспечить долгосрочную конкурентоспособность на рынке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агаев В.А., Башимов Ы.Н., Артыков Ш.Д. Повышение производительности логистики и экономика // Матрица научного познания. 2023. №2-2. С. 58-61
2. Афраймович Л.Г., Катеров А.С., Прилуцкий М.Х. Многоиндексные транспортные задачи с 1-вложенной структурой // Автоматика и телемеханика. 2016. №11. С. 18-42.
3. Ахмедов М. Роль логистики в управлении ресурсами на предприятии // *Cognitio Rerum*. 2022. №11. С. 50-52.
4. Бауэрсокс Д.Дж. Логистика: интегрированная цепь поставок. 2-е изд. Пер. с англ. М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2005. 640 с.
6. Беспалов Р.С. Транспортная логистика. Новейшие технологии построения эффективной системы доставки. М.: Вершина, 2007. 384 с.
7. Булгакова И.Н. Интегральный показатель качества как инструмент управления структурой издержек закупочной логистики // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция. 2023. №3. С. 16-25.
8. Дмитриев А.В. Цифровые технологии в транспортной логистике // РИСК: ресурсы, информация, снабжение, конкуренция. 2017. С. 14-18.
9. Дунаенко Н.А., Кудрявцева Т.Ю. Применение цифровых технологий в транспортной логистике. Экономические науки. 2023. №222. С. 124-129.
10. Есин М.С., Корепанова А.А., Сабреков А.А. Современные проблемы управления логистикой: оптимизации ресурсов при транспортировке грузов // Научные труды Северо-Западного института управления РАНХиГС. 2023. Т. 14. №3(60). С. 46-54.
11. Нагаева И.А., Кузнецов И.А. Основы математического моделирования и численные методы. Изд. Лань, 2024. С. 84-86.
10. Немолвенко А. Кто построит логистический конвейер // Эксперт. 2021. №18/19. С. 40.
12. Никифоров В.В. Логистика: Транспорт и склад в цепи поставок. Изд. ГроссМедиа, РОСБУХ. 2008. С. 44-47.
13. Рахматуллина А.Р. Логистика услуг и услуги в логистике // Проблемы совершенствования организации производства и управления промышленными предприятиями: Межвузовский сборник научных трудов. 2022. №2. С. 167-172.
14. Черпакова Е.В., Ниязян М.А., Лукашов Д.И. Функции складской и распределительной логистики в современных условиях рынка // Инновационная экономика и современный менеджмент. 2022. №6(42). С. 7-9.
15. Шепелин Г.И., Никитин В.А. Преимущества интеграции искусственного интеллекта в логистику // StudNet. 2022. Т. 5. №6. С. 181.
16. Шипулин А.В., Тушин Н.А. Оптимизация логистики в зоне экспедиции с использованием имитационного моделирования // Транспорт Урала. 2022. №4(75). С. 3-10

Марченко Вероника Евгеньевна

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И.Платова
Адрес: 346428, Россия, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132
Аспирант кафедры «Мировые логистические системы и комплексы»
E-mail: MarchenkoVE@nevz.com

Страшной Вячеслав Владимирович

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И.Платова
Адрес: 346428, Россия, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132
Аспирант кафедры «Производственный и инновационный менеджмент»
E-mail: StrashnoyVV@nevz.com

V.E. MARCHENKO, V.V. STRASHNOY

**DEVELOPMENT OF A MODEL FOR OPTIMIZING LOGISTICS CRITERIA
IN AN INDUSTRIAL ENTERPRISE**

Abstract. *In the current conditions of economic development, any industrial enterprise is working to increase the efficiency of its activities, in particular, by reducing costs and increasing the volume of products. The article presents a mathematical model for optimizing the logistical costs of an industrial enterprise with a branch structure. The model takes into account the seasonal demand for inventory in branches, seeks to minimize financial and time costs, and also reduces the number of low-turnover stocks and transportation costs. The proposed model is universal and can be adapted for industrial enterprises of all types with a distributed logistics network.*

Keywords: *industrial enterprise, logistics system, logistics network, branch structure, low-turnover stocks*

BIBLIOGRAPHY

1. Agaev V.A., Bashimov Y.N., Artykov SH.D. Povyshenie proizvoditel'nosti logistiki i ekonomika // Matritsa nauchnogo poznaniya. 2023. №2-2. S. 58-61
2. Afraymovich L.G., Katerov A.S., Prilutskiy M.H. Mnogoindeksnye transportnye zadachi s 1-vlozhennoy strukturoy // Avtomatika i telemekhanika. 2016. №11. S. 18-42.
3. Akhmedov M. Rol' logistiki v upravlenii resursami na predpriyatii // Cognitio Rerum. 2022. №11. S. 50-52.
4. Bauersoks D.Dzh. Logistika: integrirovannaya tsep' postavok. 2-e izd. Per. s angl. M.: ZAO «Olimp-Biznes», 2005. 640 c.
6. Bepalov R.S. Transportnaya logistika. Noveyshie tekhnologii postroeniya effektivnoy sistemy dostavki. M.: Vershina, 2007. 384 s.
7. Bulgakova I.N. Integral'nyy pokazatel' kachestva kak instrument upravleniya strukturoy izderzhkek zakupochnoy logistiki // RISK: Resursy, Informatsiya, Snabzhenie, Konkurentsia. 2023. №3. S. 16-25.
8. Dmitriev A.V. Tsifrovye tekhnologii v transportnoy logistike // RISK: resursy, informatsiya, snabzhenie, konkurentsia. 2017. S. 14-18.
9. Dunaenko N.A., Kudryavtseva T.YU. Primenenie tsifrovyykh tekhnologiy v transportnoy logistike. Ekonomicheskie nauki. 2023. №222. S. 124-129.
10. Esin M.S., Korepanova A.A., Sabrekov A.A. Sovremennye problemy upravleniya logitiskoy: optimizatsii resursov pri transportirovke грузов // Nauchnye trudy Severo-Zapadnogo instituta upravleniya RANHiGS. 2023. T. 14. №3(60). S. 46-54.
11. Nagaeva I.A., Kuznetsov I.A. Osnovy matematicheskogo modelirovaniya i chislennyye metody. Izd. Lan', 2024. S. 84-86.
10. Nemolvenko A. Kto postroit logisticheskii konveyer // Ekspert. 2021. №18/19. S. 40.
12. Nikiforov V.V. Logistika: Transport i sklad v tsepi postavok. Izd. GrossMedia, ROSBUH. 2008. S. 44-47.
13. Rakhmatullina A.R. Logistika uslug i uslugi v logistike // Problemy sovershenstvovaniya organizatsii proizvodstva i upravleniya promyshlennymi predpriyatiyami: Mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov. 2022. №2. S. 167-172.
14. Cherpakova E.V., Niazyan M.A., Lukashov D.I. Funktsii skladskoy i raspreditel'noy logistiki v sovremennykh usloviyakh rynka // Innovatsionnaya ekonomika i sovremennyy menedzhment. 2022. №6(42). S. 7-9.
15. Shepelin G.I., Nikitin V.A. Preimushchestva integratsii iskusstvennogo intellekta v logistiku // StudNet. 2022. T. 5. №6. S. 181.
16. Shipulin A.V., Tushin N.A. Optimizatsiya logistiki v zone ekspeditsii s ispol'zovaniem imitatsionnogo modelirovaniya // Transport Urala. 2022. №4(75). S. 3-10

Marchenko Veronika Evgenievna

South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov

Address: 346406, Russia, Novocherkassk, street of Enlightenment, 132

Postgraduate student of the department «Global Logistics systems and complexes»

E-mail: MarchenkoVE@nevz.com

Strashnoy Vyacheslav Vladimirovich

South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov

Address: 346406, Russia, Novocherkassk, street of Enlightenment, 132

Postgraduate student of the department «Production and innovation management»

E-mail:StrashnoyVV@nevz.com

ЭКСПЛУАТАЦИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Научная статья

УДК 629.331

doi: 10.33979/2073-7432-2025-4(91)-41-51

С.В. НОВИКОВ, Н.А. ЗАГОРОДНИЙ, А.С. СЕМЫКИНА, А.А. КОНЕВ

ВЫЯВЛЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ ЗНАЧЕНИЙ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АВТОМОБИЛЕЙ И ЧАСТОТЫ ОТКАЗОВ

Аннотация. В работе рассматриваются методы анализа информации о значениях технических параметров узлов и агрегатов автомобилей и установления взаимосвязей между ними и сопутствующими отказами, а также предпосылки создания модели автоматизированного прогнозирования сценариев отказов или планирования работ по ТО и ТР на основе обработки непрерывно поступающего потока информации от систем автомобиля.

Ключевые слова: грузовые автомобили, анализ, технические параметры, прогнозирование отказов

Введение

Ввиду ограниченного перечня контролируемых на постоянной основе параметров технического состояния различных узлов и агрегатов автомобилей, в значительной степени связанной как с недостаточно развитой структурой бортовых диагностических систем, так и с ограниченностью разумными пределами перечней проверок, предусмотренными регламентами ТО и ТР вне зависимости от принятой стратегии обслуживания автомобилей, актуальной остается проблема отсутствия возможности предупреждения значительной доли внезапных отказов по причине невозможности своевременного получения данных, характеризующих признаки развития сценария отказа. Менее выражена, но актуальна проблема планирования различных профилактических мер и определения периодичности и полноты диагностических операций по выявлению скрытых или слабо проявленных признаков наступления неисправностей [1].

В настоящее время ввиду совершенствования как аппаратного обеспечения дополнительных устройств по отслеживанию параметров технического состояния агрегатов автомобилей, так и программных продуктов, появляется возможность в значительной степени упростить решение различных задач по выявлению системы отказов по проявлению признаков неисправностей, а также их развитие по следующим стадиям вплоть до отказа на основе анализа больших массивов статистических данных при снижении как общей стоимости реализации таких мероприятий, так и сокращения времени их реализации, а при совершенствовании автоматизации расчетов создать предпосылки для получения результатов практически в режиме реального времени.

Таблица 1 - Проявление признаков неисправности и стадия принятия контрмер для предупреждения отказа

Признаки проявления неисправности, предвещающие отказ	Возможность предупреждения отказа	Степень успеха контрмер по предупреждению отказа в зависимости от стадии развития отказа		
		Начальная стадия	Средняя стадия	Финальная стадия
Не проявляются явно (не заметны при стандартных видах диагностики)	низкая	Ниже среднего	низкая	околонулевая
Быстро развивающийся	средняя	средняя	низкая	околонулевая
Развивающийся со средней скоростью	выше среднего	выше среднего	средняя	низкая
Развивающийся медленно	высокая	высокая	выше среднего	средняя

Материал и методы

Устройство, подключаемое к цифровой шине обмена данных между блоками управления автомобиля, позволяет производить сбор статистики данных о технических параметрах узлов и агрегатов с заданной периодичностью. Эти данные могут сохраняться как на внутренней памяти устройства, так и выводиться на отдельный сервер посредством GSM канала [2].

Весь поток данных после его передачи на сервер доступен к выгрузке в формате Excel. На рисунке 1 приведен пример таблицы.

No	Полосовая	Время	Загрузка	Напряжение	Потребление топлива	Потребление воздуха	Потребление воды	Потребление газа	Потребление масла	Потребление антифриза	Общий пробег	Пробег за рейс	Минус
1	14K-813, Белгород	2023-12-15 00:00:00	1	27,17	1	94	0	0	0	0	34384,07	79,42	
2	14K-813, Белгород	2023-12-15 00:00:01	1	27,3	1	94	0	0	0	0	34384,07	79,42	
3	14K-813, Белгород	2023-12-15 00:00:02	1	27,31	1	94	0	0	0	0	34384,07	79,42	
4	14K-813, Белгород	2023-12-15 00:00:03	1	27,33	1	94	0	0	0	0	34384,07	79,42	
5	14K-813, Белгород	2023-12-15 00:00:04	1	27,28	1	94	0	0	0	0	34384,07	79,42	
6	14K-813, Белгород	2023-12-15 00:00:05	1	27,19	1	94	0	0	0	0	34384,07	79,42	
7	14K-813, Белгород	2023-12-15 00:00:06	1	27,32	1	94	0	0	0	0	34384,07	79,42	
8	14K-813, Белгород	2023-12-15 00:00:07	1	27,38	1	94	0	0	0	0	34384,07	79,42	
9	14K-813, Белгород	2023-12-15 00:00:08	1	27,34	1	94	0	0	0	0	34384,07	79,42	
10	14K-813, Белгород	2023-12-15 00:00:09	1	27,37	1	94	0	0	0	0	34384,07	79,42	
11	14K-813, Белгород	2023-12-15 00:00:10	1	27,31	1	94	0	0	0	0	34384,07	79,42	
12	14K-813, Белгород	2023-12-15 00:00:11	1	27,27	1	94	0	0	0	0	34384,07	79,42	
13	14K-813, Белгород	2023-12-15 00:00:12	1	27,35	1	94	0	0	0	0	34384,07	79,42	
14	14K-813, Белгород	2023-12-15 00:00:13	1	27,28	1	94	0	0	0	0	34384,07	79,42	
15	14K-813, Белгород	2023-12-15 00:00:14	1	27,37	1	94	0	0	0	0	34384,07	79,42	
16	14K-813, Белгород	2023-12-15 00:00:15	1	27,34	1	94	0	0	0	0	34384,07	79,42	
17	14K-813, Белгород	2023-12-15 00:00:16	1	27,38	1	94	0	0	0	0	34384,07	79,42	
18	14K-813, Белгород	2023-12-15 00:00:17	1	27,25	1	94	0	0	0	0	34384,07	79,42	
19	14K-813, Белгород	2023-12-15 00:00:18	1	27,25	1	94	0	0	0	0	34384,07	79,42	
20	14K-813, Белгород	2023-12-15 00:00:19	1	27,3	1	94	0	0	0	0	34384,07	79,42	
21	14K-813, Белгород	2023-12-15 00:00:20	1	27,29	1	94	0	0	0	0	34384,07	79,42	
22	14K-813, Белгород	2023-12-15 00:00:21	1	27,32	1	94	0	0	0	0	34384,07	79,42	
23	14K-813, Белгород	2023-12-15 00:00:22	1	27,3	1	94	0	0	0	0	34384,07	79,42	
24	14K-813, Белгород	2023-12-15 00:00:23	1	27,36	1	94	0	0	0	0	34384,07	79,42	
25	14K-813, Белгород	2023-12-15 00:00:24	1	27,35	1	94	0	0	0	0	34384,07	79,42	
26	14K-813, Белгород	2023-12-15 00:00:25	1	27,33	1	94	0	0	0	0	34384,07	79,42	

Рисунок 1 - Сводная таблица цифровых данных технических параметров

Анализ закономерностей

В большинстве случаев при развитии сценария наступления отказа, в ходе сбора предварительных данных можно выявить закономерности сочетания, величин значений, порядка и скорости изменения технических параметров, регистрируемых бортовой системой обмена данными и связать их с признаками проявления неисправности на различных стадиях предвещающие отказ [3]. Однако определенная сложность также состоит в формулировании гипотезы и формирования адекватной модели, которая точно интерпретирует причинно-следственные связи между потоком данных значений технического состояния и соответствующих им с высокой долей достоверности сценариев отслеживаемого отказа.

В настоящий момент часть этих функций решают алгоритмы системы бортовой самодиагностики автомобиля, но их функционал описывает лишь ограниченный перечень параметров, соответствующих тому или иному сценарию развития неисправности [4]. Зачастую используя стандартные возможности самодиагностики невозможно определить стадию развития неисправности, величину риска и скорость прогрессирования неисправности. Формируемый системой самодиагностики код ошибки предполагает проведение диагностических операций, а причинно-следственные связи при поиске причины неисправности формируют довольно разветвленную структуру, представляемую как «дерево возможных причин неисправности» [5].

Для решения задачи выявления причин неисправностей, диагностика должна проводиться квалифицированным персоналом с наличием широкого спектра диагностического оборудования, что приводит к значительным затратам времени, простоям и удорожанию эксплуатации автомобильной техники. Рассматриваемые подходы призваны автоматизировать процесс поиска неисправностей в случаях, когда их точная идентификация за счет средств стан-

дартной бортовой самодиагностики невозможна или затруднена и требует вмешательства диагноста [6].

Наибольший вклад в сокращение затрат на эксплуатацию автомобильной техники возможно получить в случае охвата автоматизацией тех функций самодиагностики, которые будут предотвращать наиболее весомые отказы с точки зрения как стоимости ремонта, так и простоя автомобильной техники [7].

Условно можно распределить эти отказы на следующие группы:

- 1) отказы в единичных агрегатах ремонт которых дорог и сложен;
- 2) отказы недорогих деталей, узлов и агрегатов влекущие за собой выход из строя многих других, что по совокупности впоследствии требует сложного и дорогого ремонта;
- 3) отказы дорогостоящих узлов или агрегатов, ремонт которых невозможен.

В рамках данного исследования мероприятия ограничиваясь парком автомобилей КАМАЗ дорожно-строительных предприятий г. Белгород, различных современных моделей, имеющих возможность более простого подключения терминалов по считыванию и запоминанию технических параметров, поскольку изначально оборудованы цифровой шиной обмена данными, функционал которой способен предоставлять считывающему терминалу доступ к большинству интересующих параметров [8].

Теория и расчет

При рассмотрении статистики отказов в парке грузовых автомобилей был выявлен ряд особенностей эксплуатации, которые связаны как с различиями видов работ в зависимости от сезона, так и со спецификой выполняемых работ. Однако имеют место и такие отказы, которые не имеют очевидной связи именно с условиями эксплуатации. Они как правило трудно прогнозируемы и внезапны [9]. В качестве одного из примеров, где методика исследования в соответствии с рассматриваемыми в ней алгоритмами позволила предупреждать подобные отказы, можно привести случай с образованием трещин в головке (головках) блока цилиндров двигателя.

Таблица 2 - Последовательность проявления отказа и определения причин от простых методов к сложным

Наблюдаемый признак неисправности - перегрев двигателя. Автомобиль нельзя эксплуатировать – проявление отказа системы охлаждения.				
№ п/п	Цель	Действие	Результат действия	Причина неисправности
1	Выявление неисправностей, определяемых бортовой системой самодиагностики	Считывание и расшифровывание диагностических кодов ошибок бортовой системой самодиагностики	Подтвержден перегрев ДВС	На этом этапе не определена
2	Подтверждение герметичности системы снаружи	Проверка утечек снаружи (шланги, патрубки, трещины блока ДВС и головок блока ДВС, радиатор, радиатор отопителя, теплообменник и т.д.	Утечки не подтверждены	На этом этапе не определена
3	Подтверждение циркуляции охлаждающей жидкости в контуре системы охлаждения	Проверка работоспособности водяного насоса	Исправен	На этом этапе не определена
4	Подтверждение нормального регулирования потоков охлаждающей жидкости между малым и большим контуром	Проверка исправности термостата	Исправен	На этом этапе не определена
5	Подтверждение отсутствия влияния загрязнений в охлаждающей жидкости на циркуляцию	Оценка загрязнения охлаждающей жидкости	Без посторонних включений, способных нарушить циркуляцию	На этом этапе не определена
6	Подтверждение исправности системы смазки ДВС	Проверка уровня масла в ДВС Проверка давления на различных режимах	Система смазки в норме	На этом этапе не определена

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5
7	Выявление нарушений процесса горения топлива в цилиндрах ДВС	Как правило выявляется в ходе тестовой поездки, совмещенной со считыванием и расшифровыванием диагностических кодов	Не подтверждается нарушения процесса горения топлива в цилиндрах ДВС	На этом этапе не определена
8	Выявление скрытых дефектов деталей, приводящих к внутренним утечкам охлаждающей жидкости	Продувка воздухом цилиндров ДВС	Появление воздушных пузырей в расширительном бачке системы охлаждения	На этом этапе определена лишь группа деталей вероятной причины отказа
9	Локализация места утечки	Частична разборка ДВС со снятием головок блока ДВС	При осмотре головок выявлена трещина между впускным и выпускным каналом одной или нескольких головок блока ДВС	Трещина головки блока ДВС – причина утечки.

После выявления причины неисправности, оставалась неопределенной причина её возникновения.

Ремонт ДВС заменой неисправной головки блока на исправную обеспечивал устранение отказа, но временной интервал до следующего отказа часто был невелик [10]. На других автомобилях с той же моделью ДВС наблюдались подобные проблемы. Статистика отказов по данной причине приведена в таблице 3.

Таблица 3 - Статистика отказов

Автомобиль	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2022 - 2023												
Время работы, ч	1502	1608	1530	930	719	685	1220	1013	1432	596	985	1203
Было кол-во циклов критического режима	30190	14472	9639	1953	11648	8974	26352	18437	29070	13768	5418	4571
Было отказов	3	2	1	0	1	0	2	1	2	1	0	0
В т.ч. при кол-ве циклов критического режима (кол-во циклов критического режима суммарное)	1) 7041 2) 8646 (15687) 3) 9321 (25008)	1) 6269 2) 798 (14250)	8015		10112		9018 10286 (19304)	15320	12416 13095 (25511)	8567		
2023 - 2024												
Время работы, ч	1386	1589	1555	1202	815	731	1190	1021	1346	786	816	1411
Стало кол-во циклов критического режима	1390	320	619	718	821	361	356	214	403	80	247	285
Стало отказов	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
В т.ч. при кол-ве циклов критического режима (кол-во циклов критического режима суммарное)	1) 1361 (31551)					118 (9092)	66 (26418)					
Сумма за 2 года циклов критического режима	31580	14792	10258	2671	12469	9335	26708	18651	29473	13848	5665	4856
Отказов за 2 года	4	2	1	0	1	1	3	1	2	1	0	0

Для установления причин возникновения отказа, был проанализирован характер эксплуатации автомобилей с данными отказами, а также сформулирована гипотеза причин возникновения неисправности.

Предварительная оценка: Проявление неисправности, проявляющейся в виде образования трещин между впускным и выпускным каналом головки блока цилиндров, чаще проявлялось у двигателей достаточно высокой форсировки модель КАМАЗ 740.632-400 Евро 4 и его модификации [11].

В ходе сбора первичной информации были получены сведения о том, что данные от-

казы часто связаны с определенными режимами эксплуатации ДВС, которые описываются следующими условиями:

При эксплуатации автомобиля в условиях высокой нагрузки на двигатель и высокой частоты вращения коленчатого вала, в режиме переключения передач, водитель в момент выключения сцепления не сразу снижает степень нажатия на педаль акселератора, что приводит к повышению частоты вращения коленчатого вала до максимальных значений, ограниченных программной системой впрыска топлива, после чего происходит включение следующей передачи, и после включения сцепления частота вращения коленчатого вала выравнивается с частотой вращения первичного вала коробки передач и устанавливается на уровне соответствующем условиям движения на этой передаче [12].

Если наблюдается режим эксплуатации двигателя с высокой нагрузкой и высокими значениями частоты вращения коленчатого вала, но при этом в момент переключения передач при выключенном сцеплении водитель не допускает повышения частоты вращения коленчатого вала до предельных значений, то частота отказов значительно снижается [13].

Анализ конструктивных особенностей двигателя и сравнение с предыдущей моделью.

Таблица 4 - Некоторые технические особенности моделей двигателей семейства КАМАЗ

Модель ДВС	КАМАЗ 740	КАМАЗ 740.632-400 Евро 4
Объем двигателя, см ³	10850	11760
Мощность, л.с.	210	400
Турбонаддув	нет	есть
Система впрыска	Механический ТНВД с распределенной подачей топлива	Электронно-управляемый ТНВД
Ограничитель частоты вращения коленчатого вала	Центробежный	Электронный
Диаметр цилиндра * ход поршня, мм	120*120	120*130

На основании технических данных и с учетом особенностей конструкции двигателя гипотеза о возможных причинах отказов имеет следующую формулировку:

Двигатель КАМАЗ 740.632-400 Евро 4 являясь дальнейшей модернизацией двигателя КАМАЗ 740, имеет то же конструктивное решение системы газораспределения 2 клапана на 1 цилиндр [14]. Но при этом его объем стал больше, а для повышения мощности используется система впрыска Common Rail и турбонаддув, что в значительной степени увеличило как механическую, так и термическую нагрузку на детали двигателя, а улучшение газообмена потребовало увеличение проходных сечений как впускных так и выпускных каналов головки блока цилиндров. Это практически не сказалось на механической прочности головок блока цилиндров, однако привело к росту их теплонагруженности [15].

Учитывая все известные факты, предполагаемый сценарий развития условий для возникновения трещины между впускным и выпускным каналом головки блока цилиндров следующий:

Таблица 5 - Хронология формирования условий для возникновения неисправности, приводящей к отказу.

Порядок	Режим работы двигателя	Характеристика процесса	Результат
1	2	3	4
1	Высокая нагрузка, высокая частота вращения коленчатого вала	Высокая температура и большой объем выхлопных газов, выходящих через выпускные каналы, при большом объеме холодного воздуха входящего во впускные каналы	Нагрев выхлопного канала до высоких температур при охлаждении стенок впускного канала. Объемно напряженное состояние металла, деформация

1	2	3	4
2 (1)	Сценарий 1: Нагрузка на двигатель резко снижается, частота вращения коленчатого вала возрастает до предельно высокой (при выключении сцепления, и нажатой педали акселератора)	Высокая температура и большой объем выхлопных газов, выходящих через выпускные каналы, резко сменяется на низкую температуру (ограничение подачи топлива при достижении предельной частоты коленчатого вала) при том же объеме холодных выхлопных газов и при большом объеме холодного воздуха входящего во впускные каналы	Резкое охлаждение выхлопного канала при холодных стенках впускного канала. Объемно напряженное состояние металла меняется, деформация изменяет направление
2 (2)	Сценарий 2: Нагрузка на двигатель резко снижается, частота вращения коленчатого вала снижается (при выключении сцепления, педаль акселератора отпускается)	Высокая температура и большой объем выхлопных газов, выходящих через выпускные каналы, плавно сменяется на умеренную температуру при сниженном объеме выхлопных газов и при уменьшающемся объеме холодного воздуха входящего во впускные каналы	Низкая степень охлаждения выхлопного канала при холодных стенках впускного канала. Объемно напряженное состояние металла меняется незначительно, деформация изменяет направление, но незначительно
3	Высокая нагрузка, высокая частота вращения коленчатого вала (при включении сцепления и нажатой педали акселератора)	Высокая температура и большой объем выхлопных газов, выходящих через выпускные каналы, при большом объеме холодного воздуха входящего во впускные каналы	Нагрев выхлопного канала до высоких температур при охлаждении стенок впускного канала. Объемно напряженное состояние металла восстанавливается, деформация возвращается

При анализе хронологии формирования условий для возникновения неисправности, приводящей к отказу, приведенной в таблице 5 очевидно, что в случае управления автомобилем в соответствии с описанным сценарием 1, возникают часто чередующиеся кратковременные локальные нагревы и охлаждения стенок выхлопного канала головок блока цилиндров, что в свою очередь приводит к объемным периодическим деформациям материала головки блока цилиндров с формированием условий для возникновения усталостных трещин, приводящих к течи охлаждающей жидкости и снижению её уровня в системе охлаждения, а в некоторых случаях, наблюдается попадание охлаждающей в систему смазки с последующим ухудшением условий смазки и как следствие выходу из строя пар трения двигателя (заклинивание, проворачивание вкладышей коленчатого вала и т.д.) [16].

В случае управления автомобилем согласно сценарию 2, колебания температурных значений нагрева и охлаждения стенок выхлопных каналов головок блока цилиндров становятся заметно ниже, при этом степень объемной деформации материала головок блока цилиндров также оказывается ниже, что в значительной степени определяет снижение вероятности наступления усталостных трещин, приводящих к утечкам охлаждающей жидкости и соответственно к отказам [17].

Для проверки данной гипотезы было необходимо определить, какие из сочетаний технических параметров автомобиля, регистрируемых цифровой шиной CAN могут характеризовать условия реализации сценария 1, и подтверждается ли при этом корреляция с рассматриваемыми отказами [18].

На рисунках 2 и 3 прослеживается отчетливая разница между динамикой изменения значений параметров при сценариях 1 и 2, характерная для совокупности сочетания параметров, определяющих критический режим при сценарии 1 и отсутствии критического режима при сценарии 2.



Рисунок 2 - Значение технических параметров работы двигателя при сценарии переключения передач №1

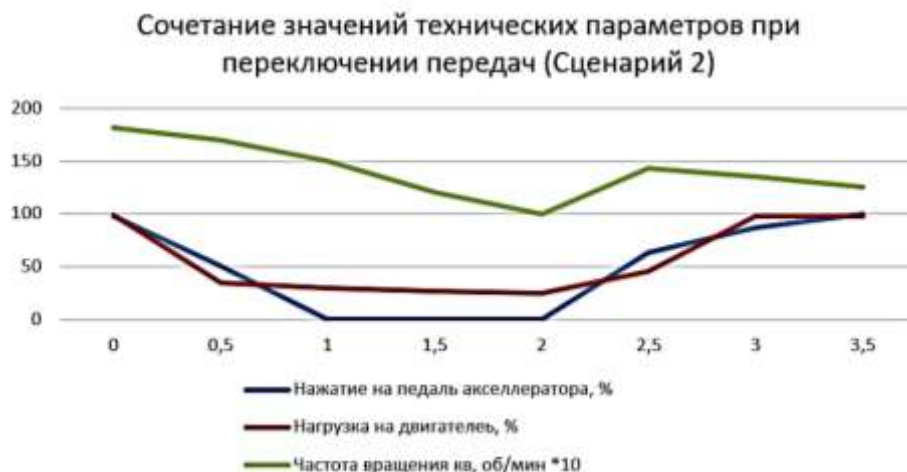


Рисунок 3 - Значение технических параметров работы двигателя при сценарии переключения передач №2

Условие для анализа данных статистики значений параметров: при высоких значениях частоты вращения коленчатого вала, степени нажатия на педаль акселератора в течение короткого промежутка времени (1-2 секунды) высокое значение нагрузки на двигатель снижается (более чем на 50 %) и снова возрастает [19].

Анализ статистики показал, что на исследуемой группе автомобилей в период первого года наблюдений имели место кратковременные продолжительностью в среднем до 2-х секунд проявления сочетания величин технических параметров, формирующих критический режим, который мог являться основной причиной возникновения и прогрессирования неисправностей с переходом в отказ. Поскольку образование трещин согласно гипотезы имеет в качестве основной рассматриваемой причины усталостное разрушение под действием циклической деформации материала головки блока цилиндров, наиболее вероятно, что такое разрушение происходит в результате накопительного эффекта от воздействия критического режима и следовательно отказ напрямую связан с исчерпанием усталостной прочности материала [20].

Дальнейшее исследование методами анализа статистических данных подтвердило наличие высоких показателей взаимосвязи между событием наступления отказа и суммарным количеством времени проявления критического режима, что подтвердило наличие причинно-следственных связей между определенной совокупностью значений технических параметров и наступлением отказа.

Поскольку частота отказов по сравнению с количеством проявивших себя случаев критического режима была довольно низкой, произвести оценку с помощью критерия ХИ-квадрат не представилось возможным, однако для выявления закономерностей взаимосвязи между частотой отказов и воздействием критического режима возможен к применению метод оценки с помощью определения ранговой корреляции Пирсона для линейной связи [21]:

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

где r – коэффициент корреляции Пирсона;

n – количество наблюдений;

x – сравниваемая переменная №1;

y – сравниваемая переменная №2.

В результате расчета корреляции между полученное значение коэффициента Пирсона $r = 0,968$ подтвердило наличие сильной линейной связи между суммарным количеством проявивших себя критических режимов и случаев отказа.

Также исследование закономерностей было проведено с помощью регрессии Кокса:

$$h(t, x) = h_0(t) \cdot \exp(\beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p),$$

где $h_0(t)$ – базовый риск или риск отказа при значениях ковариат равных 0;

β_i – коэффициенты, оценивающие модель;

x_i – ковариаты;

Для множества оцениваемых объектов:

$$L(\beta) = \prod_{i=1}^n \frac{\exp(\beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_p x_{ip})}{\sum_{j \in R(t_i)} \exp(\beta_1 x_{j1} + \dots + \beta_p x_{jp})},$$

где $R(t_i)$ – Множество объектов с риском отказа в момент времени t_i .

В результате расчетов с использованием регрессии Кокса произведена оценка вероятностей отказов при достижении определенного количества проявившихся критических режимов. При достижении значения 5000 случаев режима – вероятность отказа составляет 50%, при 8000 – 65 %. Была подтверждена статистическая значимость модели, описывающей отказы в зависимости от количества проявляющихся критических режимов, коэффициент значимости $p = 0,0112 < 0,05$. Расчет подтвержден, что принятые меры по сокращению частоты критических режимов на втором году исследования сократили риск отказа на 78 % по сравнению с изначальным уровнем риска.

Результаты и обсуждение

Исследование проводилось в парке автомобилей дорожно-строительных организаций г. Белгорода в 2022-2024 годах. Парк автомобилей, рассматриваемых в исследовании состоял из автомобилей Камаз модели 6520 и его модификаций с двигателем КАМАЗ 740.632-400 Евро 4. Так как данные автомобили оснащены современными электронными системами управления двигателем, большинство информации о технических параметрах работы двигателя контролируется блоками системы управления, что дает возможность при применении дополнительных технических средств осуществлять сбор интересующей информации, на основе которой были выполнены исследования. Обработка массивов полученных данных подтвердила гипотезу о причинах возникновения отказов и позволила сформировать ряд мероприятий организационно управленческого характера, позволившего изменить стиль управления автомобилями и тем самым добиться снижения отказов с 13-и в 2023 году до 3-х в 2024 году. Последние 3 отказа в 2024 году имели место по причине накопительного эффекта вследствие влияния предыдущего характера эксплуатации, что также было подтверждено статистическими данными.

Выводы

Анализ данных статистики позволил установить закономерности величин технических параметров исследуемых автомобилей и динамики их изменения, на основе чего после

проверки гипотезы о причинах возникновения отказов было сформировано управленческое решение, позволившее сократить количество отказов на 12-ти автомобилях с 13 в год до 3-х в год с перспективой уменьшения количества отказов в последующие годы до значений от 0 до 1 отказов в год на исследуемых автомобилях.

При этом среднее время простоев на ремонте снизилось с 309,4 ч до 71,4 ч, что составило 76,9 %.

Затраты на установку оборудования, его отладку и дальнейшее обеспечение работ составили 370 тыс. руб. Сокращение финансовых издержек составило 1189 тыс. руб. от сокращения простоев и 591 тыс. руб. на запасные части, что суммарно составляет 1 780 тыс. руб. Экономический эффект от внедрения 1 410 тыс. руб.

Данные, полученные в ходе исследования, требуют дальнейшего уточнения, с этой целью планируется проведение ряда мероприятий по организации прямых измерений непосредственно таких технических параметров, значения и динамика которых являются определяющими в возникновении исследуемых отказов.

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. Загородний Н.А., Конев А.А., Щетинин Н.А. Техническое обслуживание и ремонт автотранспортных средств и их компонентов: Учебное пособие. Лань: электронно-библиотечная система. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2022. 254 с
2. Шутов А.И., Воля П.А., Загородний Н.А. Повышение безопасности транспортного средства обеспечением рациональных значений эксплуатационных параметров: монография. Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2012. 128 с.
3. Шатерников В.С., Загородний Н.А., Петридис А.В. Техническое обслуживание и ремонт автотранспортных средств и их составных частей: Учеб. пособие для студентов. Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2012. 385 с.
4. Воротников С.А., Лысак Н.В. Техническая эксплуатация автомобилей: теория и практика. Москва: Инфра-М, 2020. 320 с.
5. Григорьев М.Н., Ревин А.А. Организация технического обслуживания автомобильного транспорта. Санкт-Петербург: Лань, 2019. 256 с.
6. Шестопалов С.К. Эксплуатация автотранспортных средств и безопасность движения: Учебник. Москва: Академия, 2021. 288 с.
7. Кузьмин Н.А., Беляев В.М. Диагностика технического состояния автомобилей. Москва: Форум, 2018. 208 с.
8. Петухов А.С., Ефимов Н.Н. Эксплуатационные материалы для автомобилей. Ростов-на-Дону: Феникс, 2022. 192 с.
9. Стуканов В.А., Леонтьев К.С. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей. Москва: Инфра-Инженерия, 2020. 352 с.
10. Бирюков М.В. Управление транспортными системами: эксплуатация и логистика. Санкт-Петербург: Политехника, 2017. 274 с.
11. Карагодин В.И., Митрохин Н.Н. Ремонт автомобилей и двигателей: Учебное пособие. Москва: Академия, 2021. 304 с.
12. Родин В.Р., Тимофеев Ю.Л. Экологическая безопасность автомобильного транспорта. Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019. 180 с.
13. Куликов О.Н., Трофименко Ю.В. Интеллектуальные системы в эксплуатации транспорта. Новосибирск: НГТУ, 2021. 224 с.
14. Иванов А.П., Семенов В.Г. Современные методы диагностики электронных систем автомобилей // Автомобильная промышленность. 2022. №5. С. 12–18.
15. Сидоров К.Р. Цифровые технологии в управлении автопарком // Транспорт России: Материалы науч.-практ. конф. 2020. С. 45–52.
16. Федоров Н.С. Повышение эффективности ТО гибридных автомобилей // Транспорт: наука, техника, управление. 2021. №3. С. 28–35.
17. Козлов Д.В. Оптимизация ресурса двигателей при эксплуатации в условиях Крайнего Севера: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. Москва, 2021. 187 с.
18. ГОСТ Р 58404-2019. Автомобильные транспортные средства. Требования к техническому состоянию; введ. 2020-01-01. Москва: Стандартинформ, 2019. 36 с.

19. РД 200-РСФСР-12-0073-2018. Методика оценки экологической безопасности автотранспорта. Москва: Минтранс РФ, 2018. 24 с.

20. Ларин О.М. Экономика эксплуатации автомобильного транспорта [Электронный ресурс]. Москва: МАДИ, 2022. URL: <http://elibrary.madi.ru>.

21. Петров А.В. Использование Big Data в управлении автопарком [Электронный ресурс] / КиберЛенинка. 2021. URL: <https://cyberleninka.ru>.

Новиков Сергей Владимирович

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

Аспирант, инженер кафедры «Эксплуатация и организация движения автотранспорта»

E-mail: svnovbel@gmail.com

Загородний Николай Александрович

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

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

E-mail: n.zagorodnij@yandex.ru

Семыкина Алла Сергеевна

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

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

E-mail: fantarock@mail.ru

Конев Алексей Александрович

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

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

E-mail: konev_alexcei@mail.ru

S.V. NOVIKOV, N.A. ZAGORODNY, A.S. SEMYKINA, A.A. KONEV

IDENTIFICATION OF INTERRELATIONS BETWEEN THE VALUES OF TECHNICAL PARAMETERS OF CARS AND THE FAILURE RATE

Abstract. The paper discusses methods for analyzing information about the values of technical parameters of car components and assemblies and establishing relationships between them and related failures, as well as prerequisites for creating a model for automated prediction of failure scenarios or planning maintenance and repair work based on processing a continuously incoming stream of information from vehicle systems.

Keywords: trucks, analysis, technical parameters, failure prediction

The work was carried out within the framework of the implementation of the federal program for supporting universities «Priority 2030» using equipment based at the High Technology Center of the V. G. Shukhov Belarusian State Technical University.

BIBLIOGRAPHY

1. Zagorodniy N.A., Konev A.A., Shchetin N.A. Tekhnicheskoe obsluzhivanie i remont avtotransportnykh sredstv i ikh komponentov: Uchebnoe posobie. Lan': elektronno-bibliotecnaya sistema. Belgorod: BGТУ im. V.G. Shukhova, 2022. 254 s.
2. Shutov A.I., Volya P.A., Zagorodniy N.A. Povyshenie bezopasnosti transportnogo sredstva obespecheniem ratsional'nykh znacheniy ekspluatatsionnykh parametrov: monografiya. Belgorod: BGТУ im. V. G. Shukhova, 2012. 128 s.
3. Shaternikov V.S., Zagorodniy N.A., Petridis A.V. Tekhnicheskoe obsluzhivanie i remont avtotransportnykh sredstv i ikh sostavnykh chastey: Ucheb. posobie dlya studentov. Belgorod: BGТУ im. V. G. Shukhova, 2012. 385 s.
4. Vorotnikov S.A., Lysak N.V. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya avtomobiley: teoriya i praktika. Moskva: InfraM, 2020. 320 s.
5. Grigor'ev M.N., Revin A.A. Organizatsiya tekhnicheskogo obsluzhivaniya avtomobil'nogo transporta.

Sankt-Peterburg: Lan`, 2019. 256 s.

6. Shestopalov S.K. Eksploatatsiya avtotransportnykh sredstv i bezopasnost` dvizheniya: Uchebnik. Moskva: Akademiya, 2021. 288 s.

7. Kuz`min N.A., Belyaev V.M. Diagnostika tekhnicheskogo sostoyaniya avtomobiley. Moskva: Forum, 2018. 208 s.

8. Petukhov A.S., Efimov N.N. Eksploatatsionnye materialy dlya avtomobiley. Rostov-na-Donu: Feniks, 2022. 192 s.

9. Stukanov V.A., Leont`ev K.S. Tekhnicheskoe obsluzhivanie i remont avtomobiley. Moskva: InfraInzheneriya, 2020. 352 s.

10. Biryukov M.V. Upravlenie transportnymi sistemami: eksploatatsiya i logistika. Sankt-Peterburg: Politehnika, 2017. 274 s.

11. Karagodin V.I., Mitrokhin N.N. Remont avtomobiley i dvigateley: Uchebnoe posobie. Moskva: Akademiya, 2021. 304 s.

12. Rodin V.R., Timofeev YU.L. Ekologicheskaya bezopasnost` avtomobil`nogo transporta. Moskva: MGTU im. N. E. Baumana, 2019. 180 s.

13. Kulikov O.N., Trofimenko YU.V. Intellektual`nye sistemy v eksploatatsii transporta. Novosibirsk: NGTU, 2021. 224 s.

14. Ivanov A.P., Semenov V.G. Sovremennye metody diagnostiki elektronnykh sistem avtomobiley // Avtomobil`naya promyshlennost`. 2022. №5. S. 12-18.

15. Sidorov K.R. Tsifrovye tekhnologii v upravlenii avtoparkom // Transport Rossii: Materialy nauch.-prakt. konf. 2020. S. 45-52.

16. Fedorov N.S. Povyshenie effektivnosti TO gibridnykh avtomobiley // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. 2021. №3. S. 28-35.

17. Kozlov D.V. Optimizatsiya resursa dvigateley pri eksploatatsii v usloviyakh Kraynego Severa: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.22.10. Moskva, 2021. 187 s.

18. GOST R 58404-2019. Avtomobil`nye transportnye sredstva. Trebovaniya k tekhnicheskomu sostoyaniyu; vved. 2020-01-01. Moskva: Standartinform, 2019. 36 s.

19. RD 200-RSFSR-12-0073-2018. Metodika otsenki ekologicheskoy bezopasnosti avtotransporta. Moskva: Mintrans RF, 2018. 24 s.

20. Larin O.M. Ekonomika eksploatatsii avtomobil`nogo transporta [Elektonnyy resurs]. Moskva: MADI, 2022. URL: <http://elibrary.madi.ru>.

21. Petrov A.V. Ispol`zovanie Big Data v upravlenii avtoparkom [Elektonnyy resurs] / KiberLeninka. 2021. URL: <https://cyberleninka.ru>.

Novikov Sergey Vladimirovich

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46

Postgraduate student, engineer of the Department «Operation and organization of movement vehicles»

E-mail: svnovbel@gmail.com

Zagorodny Nikolay Alexandrovich

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova

Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46

Candidate of Technical Sciences, associate professor, head of the department «Operation and organization of movement vehicles»

E-mail: n.zagorodnij@yandex.ru

Semykina Alla Sergeevna

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova

Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46

Candidate of Technical Sciences, senior lecturer of the department «Operation and organization of movement vehicles»

E-mail: fantarock@mail.ru

Konev Alexey Alexandrovich

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46

Candidate of Technical Sciences, Senior lecturer of the Department «Operation and organization of movement vehicles»

E-mail: konev_alexcei@mail.ru

Научная статья

УДК 656.13(1-21):614.846.6:621.43.068:504.3.064.36

doi: 10.33979/2073-7432-2025-4(91)-52-58

В.Н. ЛОЖКИН, И.В. САЦУК

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ДИЗЕЛЬНЫХ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Аннотация. В статье обоснована теоретическая модель идентификации неисправностей силовых установок пожарных автомобилей при проведении проверок их безопасности в эксплуатации на режимах свободного ускорения с регистрацией и анализом отклонений от номинальных значений мощности и дымности отработавших газов, предложен метод безразборного технического диагностирования силовых установок пожарных автомобилей по выявлению реального их технического состояния с целью поддержания их работоспособности. В рамках исследования подтверждена взаимосвязь дымности отработавших газов от времени воздействия на педаль топливopодачи пожарного автомобиля и проведено диагностирование с использованием устройства изменения скоростного режима дизеля на пожарных автомобилях различных экологических классов.

Ключевые слова: интеллектуальная система, пожарные машины, силовая установка, диагностика

Введение. Характеристика проблемы

Одним из доминирующих источников вредного воздействия на атмосферный воздух, почву и воды является автотранспорт и его эксплуатация, что наиболее выражено в мегаполисах и промышленных центрах [1]. При этом наиболее значимыми видами загрязнения окружающей среды являются выбросы вредных веществ с отработавшими газами, для снижения которых во многих странах мира применяются различные мероприятия: от развития транспортной инфраструктуры и использования экологически чистых видов топлива, до совершенствования конструкции транспортных средств [2].

Действующие в России, правила экологической безопасности автомобилей, утвержденные ТР ТС 018/2011 «О безопасности колесных транспортных средств», установили жесткие требования к концентрации вредных веществ в отработавших газах транспортных средств, которые подвергаются проверке и контролю в рамках технического инструментального осмотра и обслуживания по присвоенному им экологическому классу [3].

Данная процедура наиболее актуальна для автомобилей государственных бюджетных организаций и учреждений, так как инструментальный осмотр для этих автомобилей проводится ежегодно перед обязательным страхованием автогражданской ответственности, а условия эксплуатации, на примере подразделений пожарной охраны, предполагает частое применение форсированных (при следовании на пожар) и частичных (при работе пожарных насосов) нагрузочных режимах [4].

Обеспечение безотказной работы пожарных машин при выполнении работ по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ с учетом решения острой специфической проблемы, связанной с непрерывной модификацией их силовых установок, требует системного изучения и разработки адекватных методов технического диагностирования, учитывающих особенности эксплуатации и мероприятия по контролю экологической безопасности, что обуславливает актуальность темы исследования.

Материал и методы

Проверка экологической безопасности автомобилей в эксплуатации для дизельных двигателей (наиболее распространённых в подразделениях пожарной охраны) осуществляет-

ся методом проверки безопасности двигателей внутреннего сгорания, регламентированным ГОСТ 33997-2016, с использованием алгоритма действий по подготовке транспортного средства к проверке, созданию циклов свободного ускорения и измерению дымности.

Феноменология теоретического представления динамики формирования внутренних сил и моментов инерции, препятствующих разгону (ускорению) коленчатого вала двигателя, при полной подаче топлива в режиме свободного ускорения без внешней нагрузки (на «холостых ходах»), базируется на следующем постулате. Механическая работа, совершаемая поршнем в результате рабочего его хода под воздействием расширяющихся газов, и, развиваемая при этом индикаторная мощность, в режиме свободного ускорения закономерно уравниваются (как «противоположными реакциями» внутри единой механической силовой системы) внутренними силами и моментами инерции [5].

На основании данного постулата и общей теории поршневых двигателей внутреннего сгорания, очевидно принимать во внимание при моделировании сложного физического явления, каким является режим свободного ускорения, следующие основные группы сил и моментов инерции, отличающихся внутренней природой их возникновения:

- силы и моменты инерции деталей (цилиндропоршневой группы, коленчатого вала с маховиком и противовесами, газораспределительного механизма и т. д.), ускоряющихся при, специфически характерном для них, возвратно-поступательном или вращательном движении [6];
- силы инерции, возникающие при преодолении внутреннего трения в двигателе, включая трение между поверхностями сопрягаемых деталей (подшипники качения, скольжения; уплотнительные поршневые кольца; вкладыши коренных опор коленчатого вала; агрегатов системы топливоподачи, турбокомпрессора для наддува и т. д.) и газо-жидкостного трения (прокачка воздуха и отработавших газов через цилиндры, проточные элементы турбокомпрессора, фильтров систем впуска и выпуска - компрессорные затраты мощности; воздуха вентилятором через радиатор; прокачка охлаждающей жидкости, моторного масла через системы охлаждения и смазки) [7].

Приводя отмеченные силы и моменты инерции к коленчатому валу, очевидно ожидать того, что, с обеспечением плавности и максимальной быстроты роста угловой скорости вращения коленчатого вала в режиме свободного ускорения, двигатель сможет достигнуть максимальных инерционных нагрузок. Изложенные теоретические обоснования послужили основанием для разработки инструментального метода диагностирования аварийных режимов эксплуатации дизельных автомобилей, который был основан на применении метода проверки безопасности двигателей с использованием устройства скоростного режима [8].

Теория / Расчет

Процесс образования сажи в цилиндрах дизельных двигателей по температурным условиям, наличию кислорода, концентрации углеводородов топлива в камере сгорания дизеля неоднороден [9].

В ходе длительной эксплуатации при возникновении следующих технических отклонений: загрязнение элементов воздухоочистителя, утечки во впускном и выпускном коллекторах, механический контакт турбинных лопаток с корпусными отложениями, избыточное накопление масла и конденсата в охладителе наддувочного воздуха, выход из строя турбоагрегата, форсуночного оборудования и клапана рециркуляции газов, превышение нормативного уровня смазочного материала, изнашивание уплотнительных элементов газораспределительного механизма и деталей цилиндропоршневой группы, использование низкокачественного горючего и падение степени сжатия - наблюдается увеличение количества сажи в отработавших газах [10].

Сумма моментов сил зависит от свойств смазочных материалов и топлива, пропускных сечений трубопроводов систем питания и выпуска, конструктивных особенностей, геометрических размеров, масс деталей двигателя, однако главенствующую роль изменения общего кинетического момента при различной скорости нажатия на педаль топливоподачи оказывает формируемое угловое ускорение коленчатого вала [11].

Данная зависимость отражена в расчете мощности двигателя при динамическом расчете разгона с использованием метода геометрического анализа [12].

В реальной эксплуатации при увеличенном износе деталей цилиндропоршневой группы, ослабления резьбовых и крепежных соединений, изменения регулировочных параметров работы двигателя происходит нарушение динамического равновесия, что приводит к снижению фактической мощности двигателя, рассчитываемой по формуле:

$$N_{\phi} = \left(\left(\sum_{i=1}^n ((p_{\Gamma i} - p_{0i}) \times F_{\Pi i} \times r_i) / n \right) - (I_B + I_M + I_{\text{Ш}}') \times \varepsilon \right) \times \omega, \quad (1)$$

где N_{ϕ} - фактическая мощность двигателя, Вт;

$p_{\Gamma i}$ - давление газов над поршнем в i -ом цилиндре, Па;

p_{0i} - давление газов в картере двигателя в i -ом цилиндре под поршнем, Па;

$F_{\Pi i}$ - площадь i -го поршня, м²;

r_i - радиус кривошипа i -го цилиндра, м;

n - количество цилиндров в двигателе, м;

I_B - момент инерции коленчатого вала, кг×м²;

I_M - момент инерции маховика, кг×м²;

$I_{\text{Ш}}'$ - приведенный момент инерции шатунов и элементов поршневой группы, кг×м²;

ε - угловое ускорение вала двигателя, рад/с²;

ω - угловая скорость вала двигателя, рад/с.

Для диагностирования неисправностей и износа деталей двигателя фактическую мощность двигателя предлагается сравнивать с внешней скоростной характеристикой двигателя, определяемой по данным руководств по эксплуатации двигателей.

При выявлении более низких значений фактической мощности на установившихся режимах работы в сравнении с мощностью внешней скоростной характеристики выдвигалось предположение о неисправности деталей двигателя с последующим выявлением причин в совокупности с анализом результатов замеров дымности.

Более равномерные значения дымности, полученные за счет применения устройства скоростного режима, анализ динамики изменения частоты вращения коленчатого вала по штатному тахометру, могут позволить более точно определить причины отклонений от заводских характеристик работы и сузить количество возможных неисправностей (отказов) деталей двигателя.

Результаты и обсуждение

Результаты проверки безопасности двигателей АЦ-3,2-40/4 (43265) МОД. 014-МС, АЦ-3,2-40/4 (43253) МОД. 001-МС и АКП-32 (43118) при различном времени воздействия на педаль топливоподачи, представленных в таблице 1, подтвердила взаимосвязь максимальных значений углового ускорения и максимальных значений коэффициента поглощения света для АКП-32 (43118).

Таблица 1 – Зависимость значений коэффициента поглощения от времени перемещения педали топливоподачи испытуемых пожарного автомобиля

Наименование модели пожарного автомобиля	Время перемещения педали топливоподачи, с.			
	0,1	0,3	0,9	1,4
	Коэффициент поглощения, м ⁻¹			
АЦ-3,2-40/4 (43265) МОД. 014-МС	0,3	0,3	0,3	0,31
АЦ-3,2-40/4 (43253) МОД. 001-МС	0,42	0,49	0,45	0,41
АКП-32 (43118)	1,34	1,18	0,86	0,21

При этом результаты проверки АЦ-3,2-40/4 (43265) МОД. 014-МС показали, что независимо от времени нажатия на педаль топливоподачи коэффициента поглощения света отра-

ботавших газов практически не изменяется, что может быть связано с работой алгоритмов электронного блока управления пожарного автомобиля.

Пиковые показатели коэффициента поглощения АЦ-3,2-40/4 (43253) МОД. 001-МС фиксировались при воздействии на педаль топливоподачи продолжительностью 300 мс. Данный факт в сочетании с ростом угловой скорости свидетельствовал о выходе двигателя на экстремальный участок скорректированной внешней характеристики.

По результатам анализа показаний тахометра были построены графики изменения положения педали топливоподачи, угловых ускорения и скорости во времени (рис. 1).

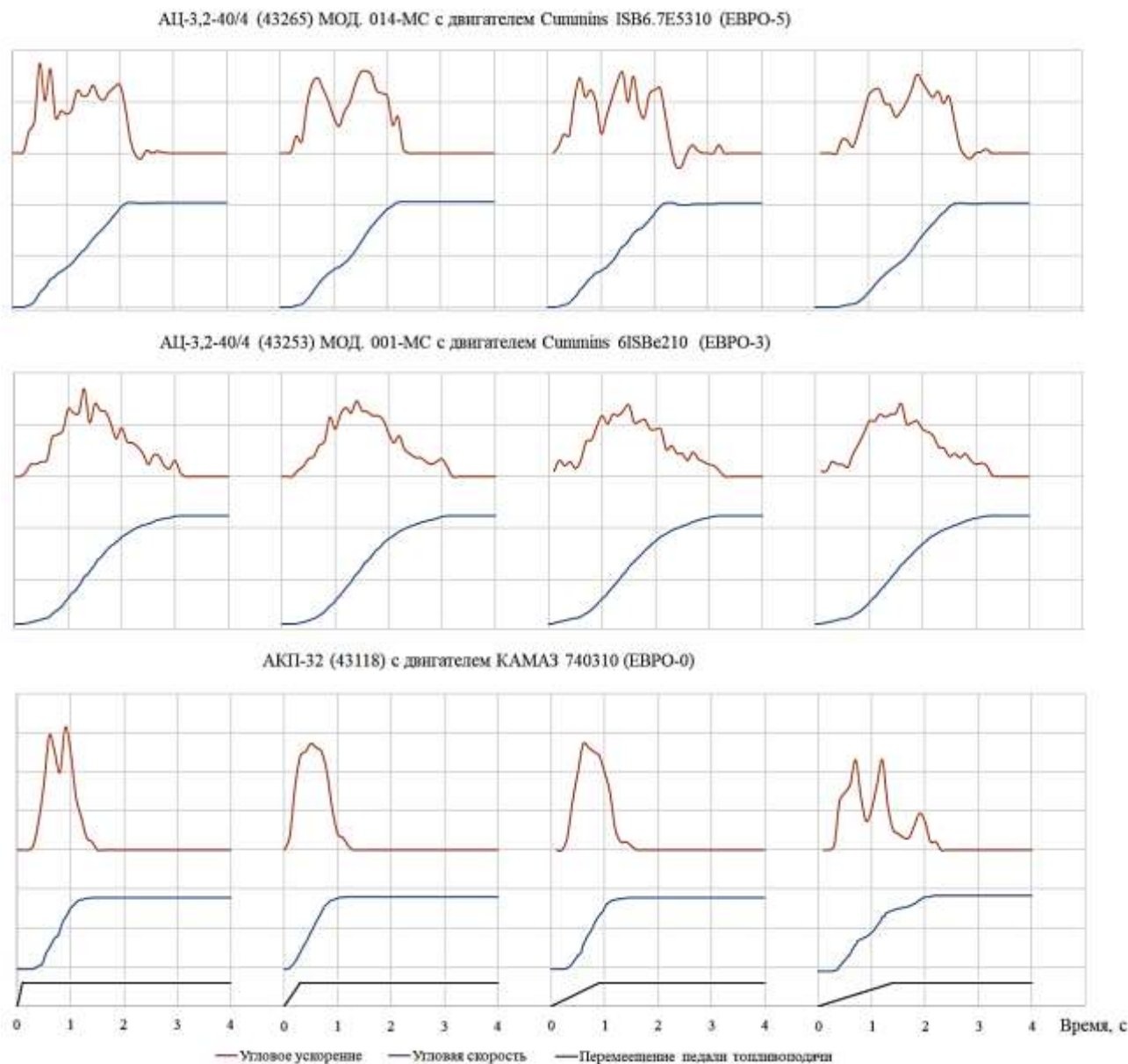


Рисунок 1 – Динамика изменения скоростей коленчатого вала от времени перемещения педали топливоподачи

Неравномерность увеличения угловой скорости и углового ускорения, влияющего на изменение момента сил инерции деталей двигателя (1) при различном времени нажатия на педаль топливоподачи отражает динамику изменения фактической мощности двигателя и свидетельствует о создании переходных режимов работы двигателя, когда для снижения нагрузки на детали ограничивается частота оборотов коленчатого вала.

Анализ расчетных данных фактической мощности выявил наличие значимых отклонений, проявляющихся в виде нестабильности выходных параметров, при их сопоставлении с внешней скоростной характеристикой двигателя АЦ-3,2-40/4 (43253) МОД.001-МС.

Наблюдаемая динамика в сочетании с повышенными значениями коэффициента поглощения может указывать на частичное засорение клапана системы рециркуляции отработавших газов, нарушение работоспособности датчика положения дроссельной заслонки и потерю герметичности впускного коллектора или соединительных патрубков.

Последующая проверка, перечисленных элементов, показала, что на внутренней поверхности клапана рециркуляции отработавших газов имелись углеродные отложения при исправности других элементов. Чистка клапана и корректировка значений частоты вращения коленчатого вала в электронном блоке управления устранили выявленные отклонения.

Другой характер изменения фактической мощности и дымности могут свидетельствовать о иных неисправностях [13]:

- снижение мощности в первые полсекунды после нажатия на педаль топливоподачи и повышение дымности указывает на неисправность карбюратора, так как из-за большей инерции топлива его расход возрастает медленнее, чем воздуха, что вызывает временное объединение смеси перебоев в работе двигателя;
- при более низкой фактической мощности на холостом ходу и разгоне в сравнении с внешней скоростной характеристикой с увеличением дымности причинами могут являться износ цилиндров и поршневых колец, повышенное давление картерных газов, появление отложений на заслонках и клапанах холостого хода, а также нарушение угла зажигания;
- постоянно повышенные обороты и мощность с увеличением дымности могут являться следствием загрязнения дроссельной заслонки;
- соответствие фактической мощности с внешней скоростной характеристикой и увеличение дымности может свидетельствовать о снижении эффективности работы системы нейтрализации отработавших газов.

Выводы

Применение разработанного метода диагностирования дизельных мобильных средств пожаротушения по анализу значений коэффициента поглощения света выхлопными газами позволит контролировать их экологическую безопасность при одновременном достижении заметной экономии горючего, за счет возможности:

- определять подачу и расход топлива, одновременно оценивая работоспособность каталитического нейтрализатора;
- установить эталонные величины основных параметров, характеризующих исправное состояние топливной аппаратуры [14];
- выявлять нарушения работоспособности распылителей инжекторов, катализаторов и топливных насосов высокого давления с последующей параметрической настройкой режимов подачи топлива;
- производить селекцию форсунок по геометрическим характеристикам каналов распыления [15].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sippel I., Magdin K. Improving the Sustainability and Safety of the City Transport System Through the Application of Computer Modeling // Digital and Information Technologies in Economics and Management (DITEM2023): Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Lecture Notes in Networks and Systems. Vol. 942. Cham: Springer Nature Switzerland AG. 2024. P. 37-48. DOI 10.1007/978-3-031-55349-3_4. EDN USSRDF.
2. Magdin K., Sippel I., Evtuykov S. Increasing the environmental safety of the motor transport complex by optimizing traffic on emergency road sections // E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 471. P. 03008. DOI 10.1051/e3sconf/202447103008. EDN NQHITN.
3. Павлишин С.Г., Бянкин А.А., Павлишина Ю.С. Совершенствование организации контроля состояния транспортных средств при обязательном техническом осмотре // Грузовик. 2021. №4. С. 23-27. EDN XTIVPT.
4. Абдулвахабов М.М., Кнутов М.С., Семенов А.Д. О системе технического обслуживания и ремонта пожарных автомобилей и аварийно-спасательной техники // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. 2020. №1(5). С. 29-32. EDN MPJYPW.
5. Курносоев А.Ф., Гуськов Ю.А. Определение эффективной мощности по величине реакций опор дви-

гателя при работе в режиме свободного разгона // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2024. №2(70). С. 111-118. DOI 10.31563/1684-7628-2024-70-2-111-118. EDN PKEUSG.

6. Добролюбов И.П., Утенков Г.Л. Оперативный контроль состояния рабочих машин по параметрам двигателя внутреннего сгорания // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021. Т. 15. №3. С. 13-21. DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-3-13-21. EDN JTXNWM.

7. Долматов С. Н., Колесников П. Г., Савельев А. Г. [и др.]. Режим работы дизельного двигателя и его износ // Строительные и дорожные машины. 2022. №4. С. 45-52. EDN KWXHFO.

8. Ложкин В.Н., Сацук И.В. Усовершенствованный метод проведения проверок дымности дизельных пожарных автомобилей с использованием устройства изменения скоростного режима двигателя // Вестник гражданских инженеров. 2024. №6(107). С. 95-102. DOI 10.23968/1999-5571-2024-21-6-95-102. EDN GQBOFZ.

9. Юрлов А.С. Физические свойства, состав и структура частиц сажи, образующихся в цилиндре дизельного двигателя // Вестник Вятского ГАТУ. 2023. №4(18). С. 253-261. EDN JJIUDR.

10. Малахов А.Ю., Курганов К.А. Основы компьютерной диагностики автомобиля по параметрам λ-регулирующего // Проблемы экспертизы в автомобильно-дорожной отрасли. 2022. №3(4). С. 7-22. EDN GNIGPC.

11. Гусаков С.В., Новиков В.А. Математическая модель для исследования возможностей диагностики двигателя внутреннего сгорания по неравномерности вращения коленчатого вала // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2014. №4. С. 8-19. EDN SQJWNL.

12. Марков В.А., Барченко Ф.Б., Неверов В.А. [и др.] Расчетные исследования динамических качеств дизельного двигателя и гусеничной машины // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2022. №3(744). С. 31-52. DOI 10.18698/0536-1044-2022-3-31-52. EDN EKJAYH.

13. Новиков А.В., Томкунас Ю.И., Кецо В.Н., Гончарко А.А. Диагностика технического состояния дизельного двигателя по дымности отработавших газов // Агропанорама. 2016. №6(118). С. 35-38. EDN YSTKWJ.

14. Гавкалюк Б.В., Ложкин В.Н., Сацук И.В. Сервис пожарной безопасности по критериям технической готовности машин специального назначения // Проблемы управления рисками в техносфере. 2024. №1(69). С. 60-66. DOI 10.61260/1998-8990-2024-1-60-66. EDN DBELRR.

15. Evtyukov S., Vetushko V.I., Kerimov M.A. [et al.] Adaptive system for preventing failures of function-forming units of machines considering their operational load and economic efficiency // International Conference on Engineering Management of Communication and Technology. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). 2022. P. 68-72. DOI 10.1109/EMCTECH55220.2022.9934072. EDN DANZBX.

Ложкин Владимир Николаевич

Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России

Адрес: 196105, Россия, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149

Д.т.н., профессор кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства

E-mail: vnlojkin@yandex.ru

Сацук Иван Владимирович

Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

Адрес: 662972, Россия, г. Железногорск, ул. Северная, д. 1

Старший преподаватель кафедры пожарной и аварийно-спасательной техники

E-mail: kviteren@gmail.com

V.N. LOZHIN, I.V. SATSUK

DIAGNOSTICS OF DIESEL FIRE TRUCKS USING AN AUTOMATED METHOD OF CONTROL OF THEIR ENVIRONMENTAL SAFETY IN OPERATION

Abstract. *The article substantiates a theoretical model for identifying faults in fire engine power plants during safety checks in operation in free acceleration modes with registration and analysis of deviations from nominal power values and exhaust smoke, proposes a method for non-disassemblable technical diagnostics of fire engine power plants to identify their actual technical condition in order to maintain their operability. The study confirms the relationship between exhaust smoke and the time of action on the fuel pedal of a fire engine, and conducts diagnostics using a device for changing the speed mode of a diesel engine on fire engines of various environmental classes.*

Keywords: *intelligent system, fire trucks, power plant, diagnostics*

BIBLIOGRAPHY

1. Sippel I., Magdin K. Improving the Sustainability and Safety of the City Transport System Through the Application of Computer Modeling // Digital and Information Technologies in Economics and Management (DITEM2023):

Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Lecture Notes in Networks and Systems. Vol. 942. Cham: Springer Nature Switzerland AG. 2024. P. 37-48. DOI 10.1007/978-3-031-55349-3_4. EDN USSRDF.

2. Magdin K., Sippel I., Evtyukov S. Increasing the environmental safety of the motor transport complex by optimizing traffic on emergency road sections // E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 471. P. 03008. DOI 10.1051/e3sconf/202447103008. EDN NQHITN.

3. Pavlishin S.G., Byankin A.A., Pavlishina YU.S. Sovershenstvovanie organizatsii kontrolya sostoyaniya transportnykh sredstv pri obyazatel'nom tekhnicheskoy osmotre // Gruzovik. 2021. №4. S. 23-27. EDN XTIVPT.

4. Abdulvakhabov M.M., Knutov M.S., Semenov A.D. O sisteme tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta pozharnykh avtomobiley i avariynno-spasatel'noy tekhniki // Pozharnaya i tekhnosfernaya bezopasnost': problemy i puti sovershenstvovaniya. 2020. №1(5). S. 29-32. EDN MPJYPW.

5. Kurnosov A.F., Gus'kov YU.A. Opredelenie effektivnoy moshchnosti po velichine reaktsiy opor dvigatelya pri rabote v rezhime svobodnogo razgona // Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024. №2(70). S. 111-118. DOI 10.31563/1684-7628-2024-70-2-111-118. EDN PKEUSG.

6. Dobrolyubov I.P., Utenkov G.L. Operativnyy kontrol' sostoyaniya rabochikh mashin po parametram dvigatelya vnutrennego sgoraniya // Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii. 2021. T. 15. №3. S. 13-21. DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-3-13-21. EDN JTXNWM.

7. Dolmatov S. N., Kolesnikov P. G., Savel'ev A. G. [i dr.]. Rezhim raboty dizel'nogo dvigatelya i ego iznos // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2022. №4. S. 45-52. EDN KWXHFO.

8. Lozhkin V.N., Satsuk I.V. Usovershenstvovannyy metod provedeniya proverok dymnosti dizel'nykh pozharnykh avtomobiley s ispol'zovaniem ustroystva izmeneniya skorostnogo rezhima dvigatelya // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2024. №6(107). S. 95-102. DOI 10.23968/1999-5571-2024-21-6-95-102. EDN GQBOFZ.

9. YUrvlov A.S. Fizicheskie svoystva, sostav i struktura chastits sazhi, obrazuyushchikhsya v tsilindre dizel'nogo dvigatelya // Vestnik Vyatskogo GATU. 2023. №4(18). S. 253-261. EDN JJIUDR.

10. Malakhov A.YU., Kurganov K.A. Osnovy komp'yuternoy diagnostiki avtomobilya po parametram regulirovaniya // Problemy ekspertizy v avtomobil'no-dorozhnoy otrasli. 2022. №3(4). S. 7-22. EDN GNIGPC.

11. Gusakov S.V., Novikov V.A. Matematicheskaya model' dlya issledovaniya vozmozhnostey diagnostiki dvigatelya vnutrennego sgoraniya po neravnomernosti vrashcheniya kolenchatogo vala // Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika. 2014. №4. S. 8-19. EDN SQJWNL.

12. Markov V.A., Barchenko F.B., Neverov V.A. [i dr.] Raschetnye issledovaniya dinamicheskikh kachestv dizel'nogo dvigatelya i gusenichnoy mashiny // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroyeniye. 2022. №3(744). S. 31-52. DOI 10.18698/0536-1044-2022-3-31-52. EDN EKJAYH.

13. Novikov A.V., Tomkunus YU.I., Ketsko V.N., Goncharko A.A. Diagnostika tekhnicheskogo sostoyaniya di-zel'nogo dvigatelya po dymnosti otrabotavshikh gazov // Agropanorama. 2016. №6(118). S. 35-38. EDN YSTKWJ.

14. Gavkalyuk B.V., Lozhkin V.N., Satsuk I.V. Servis pozharnoy bezopasnosti po kriteriyam tekhnicheskoy gotovnosti mashin spetsial'nogo naznacheniya // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2024. №1(69). S. 60-66. DOI 10.61260/1998-8990-2024-1-60-66. EDN DBELRR.

15. Evtyukov S., Vetushko V.I., Kerimov M.A. [et al.] Adaptive system for preventing failures of function-forming units of machines considering their operational load and economic efficiency // International Conference on Engineering Management of Communication and Technology. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). 2022. P. 68-72. DOI 10.1109/EMCTECH55220.2022.9934072. EDN DAHZBX.

Lozhkin Vladimir Nikolaevich

St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia

Address: 196105, Russia, St. Petersburg, Moskovsky Avenue, 149

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Fire, Rescue Equipment and Automobile Economy

E-mail: vnlojkin@yandex.ru

Satsuk Ivan Vladimirovich

St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia

Address: 662972, Russia, Zheleznogorsk, Severnaya str., 1

Senior Lecturer of the Department of Fire and Emergency Rescue Equipmen

E-mail: kviteren@gmail.com

Научная статья

УДК 629.113

doi: 10.33979/2073-7432-2025-4(91)-59-65

М.Ю. ЕЛАГИН, Э.А. ОГАНЯН, Р.Н. ХМЕЛЕВ

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИВОДА КОЛЕСНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ САМОХОДНОЙ МАШИНЫ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Аннотация. В статье представлены результаты имитационного моделирования привода колесной электрической самоходной машины в различных условиях эксплуатации. Установлены закономерности влияния дорожных условий и степени загрузки салона на энергопотребление и динамические характеристики привода. Результаты имитационного моделирования могут быть использованы при проектировании и оптимизации приводов колесных электрических самоходных машин.

Ключевые слова: имитационное моделирование, колесная электрическая самоходная машина, привод, переходные режимы, условия эксплуатации

Введение

В последние годы наблюдается стремительное развитие электрического транспорта, обусловленное необходимостью повышения энергоэффективности, экологической безопасности и снижения эксплуатационных затрат [1]. Особое место в этом направлении занимают колесные электрические самоходные машины, области применения которых весьма разнообразны. Они активно применяются в логистической отрасли, где используются для перевозки пассажиров и грузов, складской логистики, обслуживания портовых и аэропортовых комплексов.

Одним из основных элементов конструкции колесной электрической самоходной машины является система привода, обеспечивающая преобразование электрической энергии в механическую и передачу крутящего момента к колесам. Необходимость дальнейшего совершенствования конструкции приводов многоцелевых колесных электрических самоходных машин обуславливает целесообразность развития методов их расчета и проектирования [2].

При определении параметров привода (тип и характеристики электродвигателя, передаточные отношения трансмиссии), помимо основных требований, должны учитываться условия эксплуатации самоходной машины как в установившихся, так и в переходных режимах. Переходные режимы определяют уровень пиковых механических и электрических нагрузок, что напрямую влияет на ресурс, надежность и эффективность самоходных машин [3].

Таким образом, возникает задача комплексного определения параметров привода с учётом реальных условий эксплуатации, что делает актуальным применение методов имитационного моделирования.

Материал и методы

Несмотря на растущую популярность колесных электрических самоходных машин, вопросам исследования их функционирования в различных условиях эксплуатации с учетом переходных режимов работы привода в научной литературе уделяется недостаточное внимание [5]. В частности, не учитываются особенности динамики привода при разгоне, торможении, а также в критических режимах [4].

Одним из перспективных подходов является использование имитационных математических моделей, описывающих во времени комплекс взаимосвязанных процессов различной физической природы, характерных для приводов электрических самоходных машин и позволяющих определять рациональные параметры привода [6].

Целью настоящей работы является исследование переходных режимов работы привода колесной электрической самоходной машины в различных условиях эксплуатации с ис-

пользованием разработанной имитационной модели, а также выявление критических режимов функционирования.

В рамках исследования в качестве основных параметров, характеризующих условия эксплуатации рассматривались дорожные условия (коэффициент сопротивления качению, продольный уклон) и степень загрузки самоходной машины.

Объектом исследования является колесная электрическая самоходная машина авторской конструкции [7]. Особенностью данного транспортного средства является использование привода традиционной компоновки, включающего в себя механическую четырехступенчатую коробку передач, карданную передачу и ведущий мост. В качестве тягового двигателя применен двигатель постоянного тока с последовательным возбуждением обмоток, в качестве источника электроэнергии используются тяговые аккумуляторные батареи LiFePO₄ емкостью 200 А/ч [8]. Технические характеристики объекта исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Технические характеристики объекта исследования

Показатель	Значение
Общие данные	
Масса, кг	1200
Коэффициент аэродинамического Сопротивления	0,7
Лобовая площадь самоходной машины, м ²	2,81
Тяговая аккумуляторная батарея	
Суммарная ёмкость, А/ч	200
Номинальное напряжение, В	72
Количество ячеек, шт.	48
Электродвигатель	
Номинальная мощность, кВт	5
Номинальная частота вращения двигателя, об/мин	1500
Номинальное напряжение, В	67
Номинальный ток, А	93
Сопротивление обмотки якоря и статора, Ом	0,2
Индуктивность якоря, Гн	0,000475
Момент инерции якоря и сопряженных с ним частей, кг · м ²	0,2
Трансмиссия	
Передаточные числа коробки передач:	
- первая передача	3,43
- вторая передача	2,11
- третья передача	1,38
- четвертая передача	1
Передаточное число главной передачи	5,13
Ходовая часть	
Шины	145/65R12

Математическая модель привода колесной электрической самоходной машины разработана на основе аппарата графов связей [9]. При построении модели были учтены следующие особенности функционирования привода [10]:

- процесс нарастания напряжения на выводах электродвигателя, обусловленный настройкой работы контроллера;
- насыщение магнитной системы электродвигателя в момент трогания с места;
- разряд тяговой аккумуляторной батареи (описывается уравнением Шеферда);
- инерционные составляющие: момент инерции ротора, маховика, колес.

Математическая модель описывается системой дифференциальных уравнений, связывающих электрические и механические параметры привода [11]. В общем виде модель включает следующие уравнения:

$$\begin{cases} \frac{di_{\text{я}}}{dt} = \frac{1}{L_{\text{я}}} \cdot (U - R_{\text{я}} \cdot i_{\text{я}} - C \cdot \Phi \cdot \omega) \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J} \cdot (M_{\text{д}} - M_{\text{с}}) \end{cases},$$

где $i_{\text{я}}$ – ток в обмотке якоря;

$L_{\text{я}}, R_{\text{я}}$ – соответственно индуктивность и сопротивление якоря;

U – напряжение питания обмотки якоря;

J – момент инерции якоря двигателя и жестко связанных с ним вращающихся деталей;

ω – угловая скорость якоря или вала электродвигателя;

$M_{\text{д}}, M_{\text{с}}$ – соответственно движущий (электромагнитный) момент и момент сопротивления, приложенные к валу (якорю).

Адекватность разработанной математической модели подтверждена путем сравнения результатов моделирования с экспериментальными данными, полученными в ходе натурных испытаний опытного образца самоходной машины [12].

На основании приведенной математической модели было разработано программное обеспечение, реализованное средствами языка программирования Pascal. Решение дифференциальных уравнений осуществлялось с помощью метода Рунге-Кутты 4 порядка с переменным шагом интегрирования.

Расчет

В рамках численного эксперимента на модели в качестве варьируемых параметров, характеризующих условия эксплуатации, были рассмотрены следующие [13]:

- 1) степень загрузки самоходной машины: 0 %, 25 %, 50 %, 75 %, 100 %;
- 2) коэффициент сопротивления качению, соответствующий разному типу дорожного покрытия: асфальтобетонная и цементобетонная дорога - $f_k = 0,015$; укатанная грунтовая дорога - $f_k = 0,03$; укатанный снег - $f_k = 0,05$; песок сухой - $f_k = 0,2$;
- 3) продольный уклон дороги: $0^\circ, 2^\circ, 4^\circ, 6^\circ, 8^\circ, 10^\circ$.

Результаты проведенных численных экспериментов, иллюстрирующие изменение показателей привода при трогании и разгоне самоходной машины, приведены на рисунках 1-4.

На рисунке 1 в качестве примера показано изменение основных показателей привода в переходном режиме (при трогании с места и разгоне на горизонтальном участке дороги) в зависимости от передаточного отношения трансмиссии (включенной передачи).

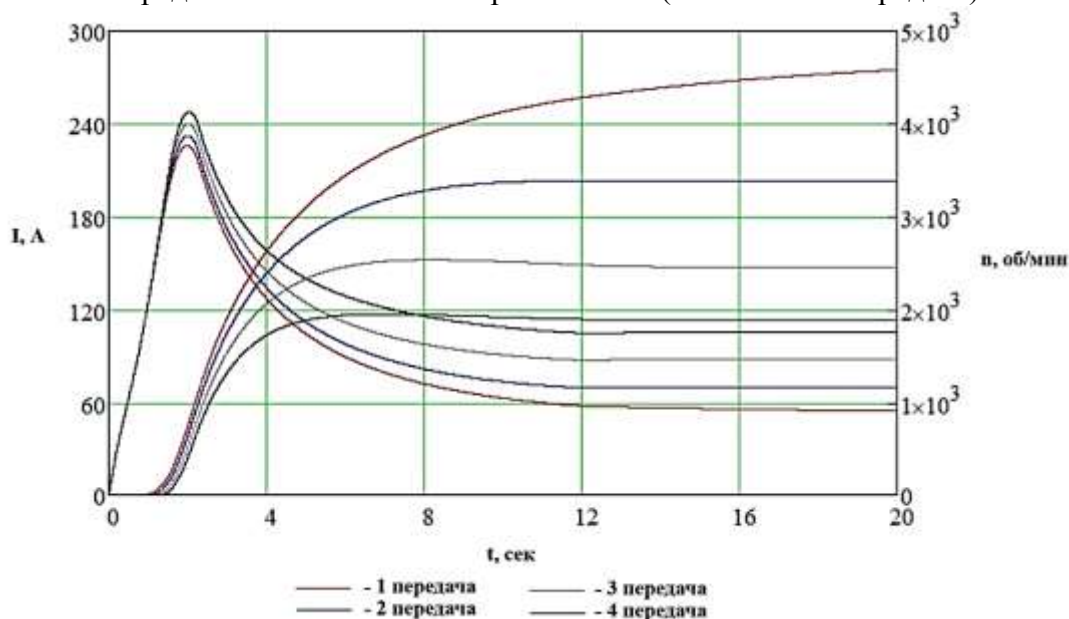


Рисунок 1 – Зависимости силы тока (I) и частоты вращения (n) вала электродвигателя от передаточного отношения трансмиссии

На рисунке 2 представлены результаты имитационного моделирования привода электрической колесной самоходной машины на первой передаче с разной степенью загрузки салона в режиме трогания с места и разгона.

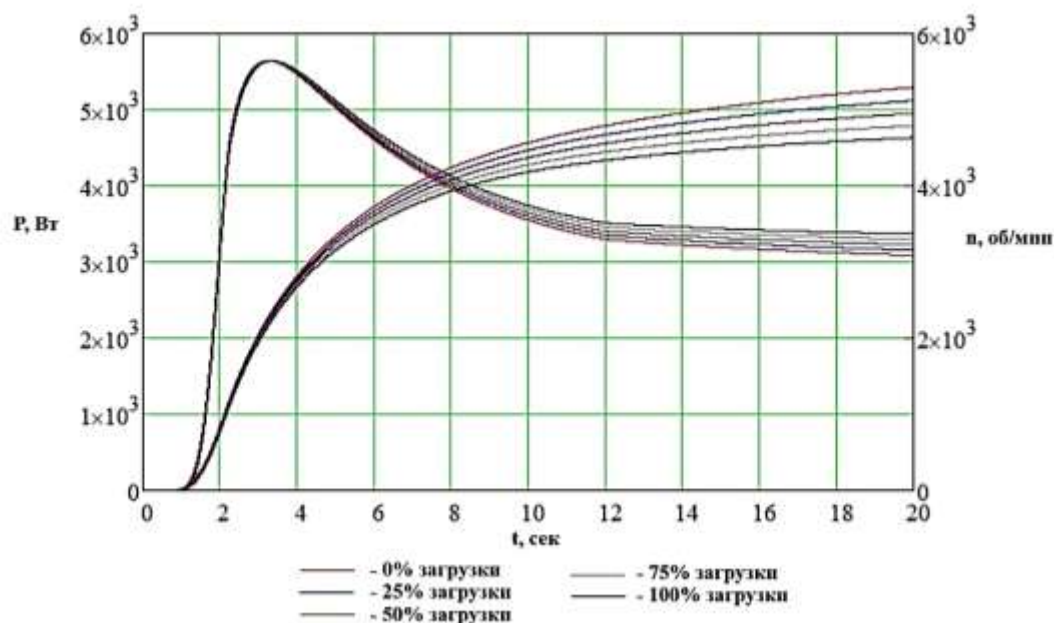


Рисунок 2 – Зависимости потребляемой мощности (P) и оборотов (n) на электродвигателе от степени загрузки самоходной машины

На рисунке 3 представлены результаты имитационного моделирования привода электрической колесной самоходной машины в режиме разгона с разным коэффициентом сопротивления качению. Расчет проводился с учетом полной загрузки салона, что соответствует реальным условиям эксплуатации при передаточном отношении, соответствующем включению первой передачи.

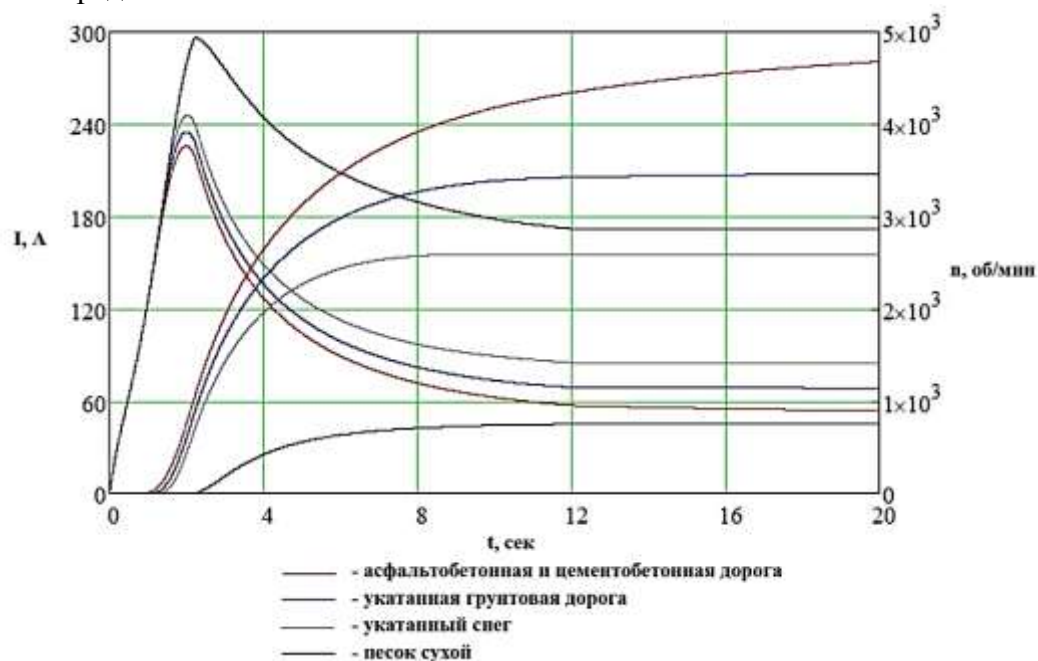


Рисунок 3 – Зависимости силы тока (I) и частоты вращения (n) вала электродвигателя от коэффициента сопротивления качению

На рисунке 4 приведены исследования влияния продольного уклона дороги (подъема) на характеристики привода электрической самоходной машины. Расчет производился с учетом полной загрузки салона и передаточном отношении, соответствующем первой передаче.

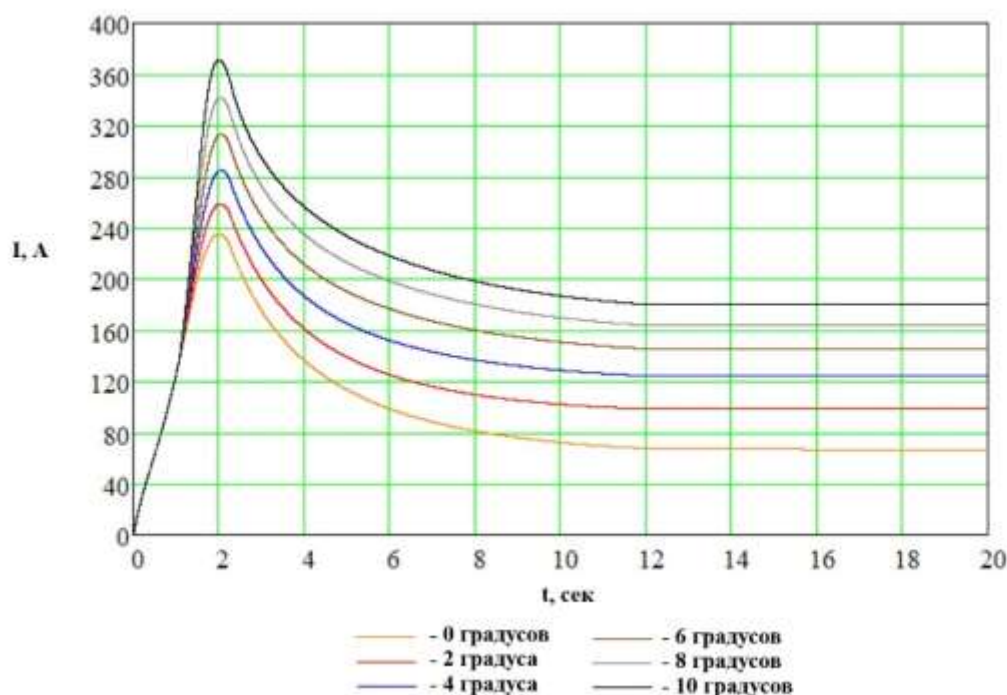


Рисунок 4 – Зависимости силы тока (I), потребляемой электродвигателем, от продольного уклона дороги

Результаты и обсуждение

Результаты расчетов показали, что на первой передаче величина потребляемого тока в пиковом значении составила 226 А и 53 А в режиме установившегося движения. На четвёртой передаче наблюдалось увеличение пикового тока на 7,5 % (до 243 А) и прирост значений силы тока в установившемся режиме на 98 % (до 105 А) по сравнению с первой передачей (рис. 1).

Изменение дорожного покрытия в сторону снижения его жёсткости сопровождается увеличением сопротивления качению, что, в свою очередь, приводит к росту электрических нагрузок (рис. 3).

Также следует отметить, что при продольном уклоне (подъёме) равном 10° пиковое значение тока, протекающего через тяговый электродвигатель, достигает 370 А. Данный показатель превышает максимально допустимое кратковременное значение тока, установленное для блока управления аккумуляторной батареей (BMS - battery management system), которое составляет 350 А (рис. 4). Таким образом, движение в подобных условиях следует отнести к критическим режимам эксплуатации, сопряжённым с риском выхода из строя компонентов силовой электрической цепи [14].

Полученные данные указывают на необходимость рационального выбора основных параметров привода с учетом условий эксплуатации самоходных машин.

Выводы

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- результаты численных экспериментов на имитационной математической модели позволили оценить влияние различных условий эксплуатации на динамические показатели работы привода колесной электрической самоходной машины;
- установлены закономерности возникновения критических режимов функционирования привода;

- результаты имитационного моделирования могут быть использованы при проектировании новых и совершенствовании существующих конструкций приводов колесных электрических самоходных машин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электромобиль: устройство, принцип работы, инфраструктура / Э. Джутон, К. Рейн, В. Совант-Мойно и др.; пер. с франц. В.И. Петровичева. М.: ДМК Пресс, 2022. 440 с.
2. Строганов В.И., Сидоров К.М. Математическое моделирование основных компонентов силовых установок электромобилей и автомобилей с КЭУ: Учебное пособие. М.: МАДИ, 2015. 100 с.
3. Козлова Т.А. Методика поиска рациональных конструктивных параметров тягового привода электромобиля // Интернет-журнал Науковедение. 2016. Т. 8. №5(36). С. 74.
4. Нгуен К.Т. Развитие теории и методы повышения энергоэффективности однодвигательных тяговых электроприводов автотранспортных средств автореф. на соиск. учен. степ. д-ра техн наук: 05.09.03 - Электротехнические комплексы и системы. Москва, 2012. 40 с.
5. Козлова Т.А. Разработка методики расчета и выбор рациональных конструктивных параметров тягового привода электромобиля: автореф. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук: 05.05.03 - Колесные и гусеничные машины. Нижний Новгород, 2017. 22 с.
6. Груничев А.В., Елагин М.Ю., Оганян Э.А. Математическое моделирование электрической силовой установки автотранспортных средств // Мир транспорта и технологических машин. 2025. №1-4(88). С. 37-43.
7. Транспортное средство: пат. 134373 Рос. Федерация. № 2022503245 / Агуреев И.Е., Антоненков М.А., Дорохина А.Е., Рыбаков Г.П., Хмелев Р.Н.; заявл. 28.07.2022; опубл. 05.12.2022.
8. Рыбаков Г.П., Хмелев Р.Н. Методика проектирования экскурсионных электробусов, адаптированных для перевозки пассажиров с ОВЗ // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №3-5(82). С. 67-73.
9. Применение теории графов связей в технике / под ред. Д. Кэрнопа и Р.Розенберга. М.: Мир, 1974. 95 с.
10. Оганян Э.А. Анализ математических моделей электрических силовых установок автотранспортных средств // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 2. 2024. С. 523-527.
11. Построение и анализ динамических моделей механизмов. Ч. 3. Модели приводов: Учебно-методическое пособие. Бишкек: Кыргызско-Российский Славянский университет, 2001. 50 с.
12. Ют В.Е., Строганов В.И. Электромобили и автомобили с комбинированной энергоустановкой. Расчет скоростных характеристик: Учебное пособие. М.: МАДИ, 2016. 108 с.
13. Сафиуллин Р.Н., Башкардин А.Г. Автомобили. Эксплуатационные свойства: Учебное пособие. Ч. 2. СПб.: СПбГАСУ. 2010. 244 с.
14. Кувшинов А.А., Греков Э.Л. Теория электропривода. Ч. 3. Переходные процессы в электроприводе: Учебное пособие. Оренбург: ОГУ, 2017. 114 с.

Елагин Михаил Юрьевич

Тульский государственный университет

Адрес: 300012, Россия, г.Тула, пр. Ленина, д. 92

Д.т.н., профессор кафедры «Транспортно-технологические машины и процессы»

E-mail: aiah@yandex.ru

Оганян Эдуард Артурович

Тульский государственный университет

Адрес: 300012, Россия, г.Тула, пр. Ленина, д.92

Аспирант

E-mail: edikoganian@gmail.com

Хмелев Роман Николаевич

Тульский государственный университет

Адрес: 300012, Россия, г.Тула, пр. Ленина, д. 92

Д.т.н., профессор кафедры «Транспортно-технологические машины и процессы»

E-mail: aiah@yandex.ru

M.Y. ELAGIN, E.A. OGANYAN, R.N. KHMELEV

SIMULATION OF THE DRIVE OF A WHEELED ELECTRIC SELF-

PROPELLED VEHICLE IN VARIOUS OPERATING CONDITIONS

Abstract. The article presents the results of simulation modeling of the drive of a wheeled electric self-propelled vehicle in various operating conditions. Patterns of the influence of road conditions and the degree of loading of the interior on the energy consumption and dynamic characteristics of the drive have been established. The simulation results can be used in the design and optimization of drives for wheeled electric self-propelled vehicles.

Keywords: simulation, wheeled electric self-propelled vehicle, drive, transient modes, operating conditions

BIBLIOGRAPHY

1. Elektromobil': ustroystvo, printsip raboty, infrastruktura / E. Dzhuton, K. Reyn, V. Sovant-Moyno i dr.; per. s frants. V.I. Petrovicheva. M.: DMK Press, 2022. 440 s.
2. Stroganov V.I., Sidorov K.M. Matematicheskoe modelirovanie osnovnykh komponentov silovykh ustanovok elektromobiley i avtomobiley s KEU: Uchebnoe posobie. M.: MADI, 2015. 100 s.
3. Kozlova T.A. Metodika poiska ratsional'nykh konstruktivnykh parametrov tyagovogo privoda elektromobilya // Internet-zhurnal Naukovedenie. 2016. T. 8. №5(36). S. 74.
4. Nguen K.T. Razvitie teorii i metody povysheniya energoeffektivnosti odnodvigatel'nykh tyagovykh elektropriwodov avtotransportnykh sredstv avtoref. na soisk. uchen. step. d-ra tekhn. nauk: 05.09.03 - Elektrotekhnicheskie komplekсы i sistemy. Moskva, 2012. 40 s.
5. Kozlova T.A. Razrabotka metodiki rascheta i vybor ratsional'nykh konstruktivnykh parametrov tyagovogo privoda elektromobilya: avtoref. na soisk. uchen. step. kand. tekhn. nauk: 05.05.03 - Kolesnye i gusenichnye mashiny. Nizhniy Novgorod, 2017. 22 s.
6. Grunichev A.V., Elagin M.YU., Oganyan E.A., Hmelev R.N. Matematicheskoe modelirovanie elektricheskoy silovoy ustanovki avtotransportnykh sredstv // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2025. №1-4(88). S. 37-43.
7. Transportnoe sredstvo: pat. 134373 Ros. Federatsiya. № 2022503245 / Agureev I.E., Antonenkov M.A., Dorokhina A.E., Oganyan E.A., Rybakov G.P., Hmelev R.N.; zayavl. 28.07.2022; opubl. 05.12.2022.
8. Oganyan E.A., Rybakov G.P., Hmelev R.N. Metodika proektirovaniya ekskursionnykh elektrobusev, adaptirovannykh dlya perevozki passazhirov s OVZ // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №3-5(82). S. 67-73.
9. Primenenie teorii grafov svyazey v tekhnike / pod red. D. Kernopa i R. Rozenberga. M.: Mir, 1974. 95 s.
10. Oganyan E.A. Analiz matematicheskikh modeley elektricheskikh silovykh ustanovok avtotransportnykh sredstv // Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki. Vyp. 2. 2024. S. 523-527.
11. Postroenie i analiz dinamicheskikh modeley mekhanizmov. CH. 3. Modeli priwodov: Uchebno-metodicheskoe posobie. Bishkek: Kyrgyzsko-Rossiyskiy Slavyanskiy universitet, 2001. 50 s.
12. YUtt V.E., Stroganov V.I. Elektromobili i avtomobili s kombinirovannoy energoustanovkoy. Raschet skorostnykh kharakteristik: Uchebnoe posobie. M.: MADI, 2016. 108 s.
13. Safiullin R.N., Bashkardin A.G. Avtomobili. Eksploatatsionnye svoystva: Uchebnoe posobie. CH. 2. SPb.: SPbGASU. 2010. 244 s.
14. Kuvshinov A.A., Grekov E.L. Teoriya elektropriroda. CH. 3. Perekhodnye protsessy v elektroprirode: Uchebnoe posobie. Orenburg: OGU, 2017. 114 s.

Elagin Mikhail Yurievich

Tula State University

Address: 300012, Russia, Tula, Lenin ave., 92

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Transport and Technological Machines and Processes

E-mail: aiah@yandex.ru

Ohanyan Eduard Arturovich

Tula State University

Address: 300012, Russia, Tula, Lenin ave., 92

Graduate student

E-mail: edikoganian@gmail.com

Khmelev Roman Nikolaevich

Tula State University

Address: 300012, Russia, Tula, Lenin ave., 92

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Transport and Technological Machines and Processes

E-mail: aiah@yandex.ru

Научная статья

УДК 159.942.4

doi: 10.33979/2073-7432-2025-4(91)-66-74

С.В. КУЩЕНКО, О.А. АКИМОЧКИНА, Д.О. ЛОМАКИН, Е.Н. ОЛЕЙНИКОВ

КЛИНИКО-ПСИХОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АМАКСОФОБИИ: ОТ МЕХАНИЗМОВ ФОРМИРОВАНИЯ К МЕТОДАМ КОРРЕКЦИИ

Аннотация. В статье проводится комплексный анализ амаксофобии - патологического страха управления транспортными средствами. Рассматриваются ключевые аспекты расстройства: этиологические факторы (травматический опыт, психологические предикторы), нейробиологические механизмы (дисфункция миндалевидного тела и префронтальной коры) и многоуровневая клиническая картина. Особое внимание уделяется современным методам коррекции, включая когнитивно-поведенческую терапию, технологии виртуальной реальности и интегративным подходам. Подчеркивается эффективность комплексного воздействия для преодоления фобии и восстановления качества жизни пациентов.

Ключевые слова: амаксофобия, транспортная фобия, страх вождения, тревожные расстройства, этиология фобий, клиническая психология, когнитивно-поведенческая терапия, виртуальная реальность в психотерапии, нейробиология страха, психокоррекция, EMDR-терапия, качество жизни, психогигиена водителя

Введение

В современных условиях, где персональная мобильность превратилась в неотъемлемый компонент повседневного существования, умение водить машину эволюционировало из практического умения в насущную потребность. Тем не менее, для многих людей эта потребность преобразуется в серьезную проблему, сопряженную с преодолением неконтролируемого и сильного страха - амаксофобии. Важность всестороннего исследования данной тревожной патологии объясняется комплексом социальных, экономических и личностно-психологических аспектов.

Амаксофобия - навязчивый страх находиться в транспортном средстве в качестве пассажира или водителя. Распространяется на автомобили, автобусы, мотоциклы и другие виды транспорта. Человек с этой фобией не слушает никаких доводов в безопасности поездки и уверен, что все обязательно закончится очень плохо. Приступ панической атаки у него будет, даже если ему объясняют, что автомобиль новый, полностью исправный, дорожная обстановка неслучайная и т.д. [1].

Особую значимость теме придает высокая распространённость данной фобии и её тесная взаимосвязь с иными психическими нарушениями. Боязнь управления транспортным средством редко проявляется изолированно; зачастую она сопровождается паническими расстройствами, агорафобией, генерализованное тревожное состояние или возникает как последствие посттравматического стрессового расстройства после перенесённой дорожной аварии. Это обуславливает её значение в качестве значимого диагностического показателя и объекта терапевтического воздействия, результативная работа с которым способна благотворно повлиять на всю совокупность сопутствующих патологических состояний пациента.

Всестороннее изучение амаксофобии - её предпосылок, клинической картины и методов терапии - представляет собой актуальную и социально значимую научную задачу. Данная проблема находится в области пересечения интересов отдельного индивида, стремящегося к совершенной жизни, и общества, заинтересованного в формировании мобильных, психически стабильных и безопасных участников дорожного движения [5].

Материал и методы

Существует четыре основных уровня формирования этого расстройства: от непосредственных травматических переживаний до нейробиологических основ страха (рис. 1). Каждый раздел раскрывает определенный аспект - как внешние воздействия преобразуются в устойчивые паттер-

ны мышления и поведения, а физиологические реакции закрепляют фобические проявления [10].



Рисунок 1 - Модель формирования амаксофобии

Теория

Прямое травматическое обусловливание (рис. 2)

Пережитое дорожно-транспортное происшествие (ДТП): большинство страдающих амаксофобией лично столкнулись с аварией или транспортным инцидентом либо наблюдали подобное происшествие. Боязнь повторения катастрофы трансформируется в фобическое расстройство. Реже причиной становится медийная информация (телерепортажи, интернет-публикации). Формируется устойчивая условно-рефлекторная ассоциация «транспортное средство = страдание/угроза/гибель» [7].



Рисунок 2 - Механизм прямого травматического обусловливания при амаксофобии

Кризисные ситуации: речь о мгновениях, когда водитель неожиданно встречается с прямой угрозой для жизни. К подобным обстоятельствам причисляют внезапную утрату управления автомашиной - к примеру, скольжение на обледеневшей трассе либо отказ тормозов. Не менее травмоопасны инциденты, спровоцированные поведением иных участников движения. Когда другой автомобиль резко пересекает траекторию, выскакивает на встреч-

ную полосу (рис. 3) либо экстренно останавливается перед вами, рождается не просто испуг, но и ощущение вопиющей несправедливости. Особое психологическое бремя несут события - те самые «избежавшие катастрофы» мгновения, когда столкновение предотвращается в финальный момент. Психика принимается постоянно воспроизводить возможный трагический исход [9].



Рисунок 3 - Психотравмирующие факторы кризисных ситуаций в дорожном движении

Опосредованный (викарный) опыт:

- наблюдение за тяжёлыми авариями или их последствиями;
- систематический просмотр тревожных новостей о ДТП, видеозаписей с автомобильных регистраторов;
- восприятие страха у окружающих (например, тревожный водитель за рулём или пассажир).

Вербальное информирование и устрашение:

- постоянные предостережения об опасностях вождения от близких, родных;
- пугающие рассказы об авариях, концентрация на статистике летальности;
- деструктивные установки, сформированные в автошколе («у тебя не выйдет», «ты погубишь всех нас») [3].



Рисунок 4 - Механизм опосредованного травматического обусловливания

Индивидуальные и психофизиологические предпосылки (рис. 5):

- тревожность: люди с высоким уровнем тревожности отличаются особым мыслительным стилем, который выражается в непрерывном анализе окружения на предмет возможных угроз.
- низкая стрессоустойчивость: данная особенность свидетельствует о недостаточной сформированности умений саморегуляции и преодоления стрессовых ситуаций.
- перфекционизм: перфекционистские убеждения формируют особую восприимчивость к развитию страха вождения через неприятие возможности ошибки («мне следует водить безупречно»), преувеличение последствий любых погрешностей в управлении, постоянное сопоставление себя с «образцовыми» водителями. Боязнь «сделать неидеально» блокирует принятие решений и способствует уклонению от сложных дорожных условий.
- катастрофическое мышление: когнитивное искажение, при котором индивид склонен прогнозировать наихудший вариант развития событий.
- сенсорная восприимчивость: повышенная чувствительность к сенсорным раздражителям создаёт специфические сложности: быстрое пресыщение от интенсивного светового потока (фары, знаки); сложность отбора релевантных и нерелевантных звуковых сигналов; затруднения при обработке быстро меняющейся зрительной информации. Сенсорная перегрузка ведёт к умственному истощению, увеличивая предрасположенность к паническим реакциям [8].

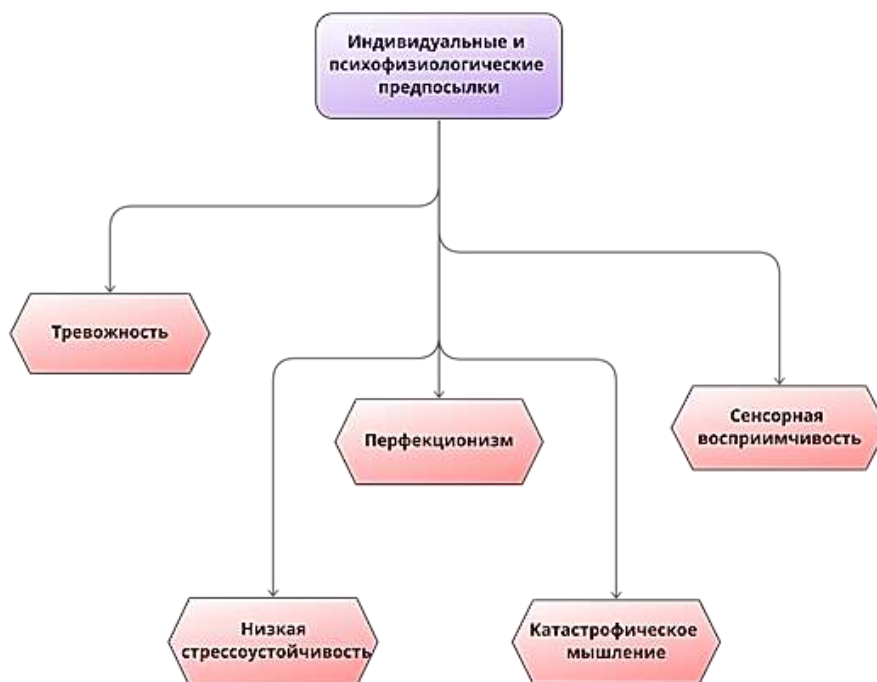


Рисунок 5 - Личностные факторы риска развития амаксофобии

Нейробиологические механизмы амаксофобии

Страх перед вождением обладает глубоким нейробиологическими основаниями, ассоциированными с расстройством функционирования ключевых мозговых структур. Центральное место в данном процессе занимает миндалевидное тело (амигдала) - своего рода «детектор угроз», который у лиц, страдающих амаксофобией, демонстрирует патологически завышенную активность. Данная гиперактивность приводит к тому, что даже нейтральные стимулы, ассоциированные с вождением (внешний вид рулевого колеса, шум мотора, дорожная ситуация), интерпретируются как потенциально опасные и провоцируют чрезмерную реакцию страха.

В нормальных условиях эмоциональные отклики миндалины модулируются префрон-

тальной корой - зоной мозга, ответственной за сложное планирование, оценку рисков и принятие решений (рис. 6). Однако при амаксофобии отмечается расстройство данной системы регуляции. Префронтальная кора утрачивает возможность результативно подавлять излишние сигналы тревоги, что ведёт к своеобразному «дисбалансу» системы.

Данный нейробиологический дисбаланс отягощается нарушениями в работе гормональной системы. Постоянная активация стрессового отклика приводит к повышенной концентрации кортизола и расстройству механизмов обратной связи, что дополнительно усиливает тревожность и снижает способность организма к саморегулированию [7].



Рисунок 6 - Нейробиологические механизмы амаксофобии

Знание этих механизмов открывает пути к преодолению страха - как через профессиональную помощь, так и через самоосознание. Понимание того, как формируется и закрепляется фобия, становится первым шагом к возвращению за руль без страха.

Амаксофобия проявляется сложным комплексом симптомов, затрагивающих все уровни человеческого функционирования - от мышления и эмоций до телесных реакций и поведения [1].

Когнитивная сфера отличается расстройством естественных мыслительных функций. У пациентов отмечаются навязчивые, с трудом поддающиеся контролю размышления о катастрофах, гибели либо утрате управления над автомобилем. Данные мыслительные процессы часто приобретают характер катастрофизации - индивид уверен, что непременно попадёт в аварию, не сможет справиться с управлением. Типичны негативные предсказания даже при объективно благоприятных обстоятельствах: «сегодня гололёд, мне не удастся доехать», «на магистрали непременно возникнет занос» [6]. Формируется сверхбдительность - перманентная концентрация на телесных ощущениях и выискивании признаков угрозы.

Эмоциональные проявления отличаются интенсивностью и иррациональностью. Даже представление о потребности управлять автомобилем провоцирует сильный, с трудом сдерживаемый ужас. За несколько суток или часов до намеченной поездки формируется тревога предвосхищения, способная достигать интенсивности панических приступов. Типично переживание бессилия перед собственной боязнью, которое нередко сопровождается ощущением стыда и виновности, в особенности, когда неспособность к вождению вызывает затруднения у родных [2].

Физиологический компонент проявляется яркими телесными реакциями. Со стороны сердечно-сосудистой системы отмечается учащённое сердцебиение, увеличение артериального давления. Дыхательная система отвечает усиленной вентиляцией лёгких, чувством недостатка кислорода. Мышечное напряжение выражается дрожью, судорожными сокращениями

ями, преимущественно в зоне шеи и плеч. Распространены желудочно-кишечные признаки - тошнота, нарушения пищеварения. Неврологические симптомы содержат головокружение, переживание отчуждения от реальности и ощущение отделённости от собственного тела.

Поведенческая сфера характеризуется выраженным избегающим поведением. Пациенты полностью отказываются от управления транспортным средством либо избегают определённых условий - передвижения в ночное время, поездок по автомагистралям, вождения при неблагоприятных погодных условиях. Формируется поведение поиска защищённости - возможность управления автомобилем исключительно с доверенными сопровождающими, применение лишь хорошо изученных маршрутов. Компенсирующее поведение обнаруживается чрезмерной осмотрительностью - перемещение с крайне малой скоростью, многократный контроль показаний приборов, уклонение от манёвров перестроения [4].

Эта сложная симптоматика создает порочный круг: когнитивные нарушения усугубляют аффективные состояния, которые провоцируют соматические проявления, что, в свою очередь, закрепляет избегательные стратегии и деструктивное мышление. Преодоление данного цикла требует целостного вмешательства на всех уровнях проявления фобического расстройства.

Коррекция боязни управления транспортным средством требует комплексной стратегии, объединяющей разнообразные психокоррекционные методики и, при наличии показаний, фармакологическое сопровождение. Ведущим и наиболее результативным подходом признана когнитивно-поведенческая психотерапия (КПТ), направленная на два фундаментальных аспекта фобии: иррациональные мыслительные конструкции и избегающим поведением [11].

В рамках КПТ особую значимость приобретает методика постепенной десенсибилизации. Процедура начинается с формирования персональной иерархии тревожных ситуаций - от элементарных (к примеру, просто занять место водителя на парковочной площадке) до максимально пугающих (движение по многополосной магистрали). Последовательно, под руководством специалиста, пациент осваивает преодоление каждого этапа, применяя релаксационные техники для регуляции тревожности. Данный процесс способствует трансформации автоматических реакций страха и формированию нового, более адаптивного поведенческого опыта.

Современным дополнением к классической экспозиционной терапии выступают технологии виртуальной реальности (ВРТ). Они обеспечивают возможность проведения коррекционного воздействия в абсолютно управляемой и безопасной обстановке. Посредством ВР-оборудования пациент получает возможность погружаться в симулированные дорожные условия, планомерно наращивая их сложность - изменяя метеорологические параметры, временные промежутки, плотность транспортного потока. Это приобретает особую ценность для отработки сценариев, сложных или небезопасных для воссоздания в действительности [15].

Результаты и обсуждение

Для работы с глубинными психологическими детерминантами страха применяются гипнотерапия и техники работы с подсознанием. Они способствуют выявлению и переработке травматических воспоминаний, потенциально лежащих в основе фобии, а также формированию новых позитивных установок относительно вождения [9].

В качестве вспомогательного элемента, особенно на начальных стадиях терапевтического процесса, может применяться медикаментозная поддержка. Кратковременный курс анксиолитиков или β -адреноблокаторов способствует снижению интенсивности соматических проявлений страха, что облегчает участие в психотерапевтический процесс. Однако важно понимать, что фармакологические средства не устраняют причину фобического расстройства, а лишь временно смягчают его симптомы.

Среди интегративных методик особого внимания заслуживает метод EMDR (ДПДГ) - десенсибилизация и переработка посредством движений глазных яблок. Первоначально разработанный для коррекции посттравматических стрессовых расстройств, он демонстрирует эффективность и при фобиях, способствуя перерабатывать травматические воспоминания на

нейрофизиологическом уровне. Также высокую эффективность демонстрируют практики осознанности, развивающие навык наблюдения за собственными мыслительными процессами и телесными ощущениями. Это способствует снижению общего уровня тревожности и разрыву циклической природы катастрофического мышления.

Современный арсенал коррекции амаксофобии предлагает многообразные инструменты, поддающиеся адаптации согласно индивидуальным особенностям каждого пациента. Сочетание когнитивно-поведенческих методов с технологическими новациями и телесно-ориентированными практиками позволяет достигать стабильных результатов и возвращаться к комфортному и безопасному управлению транспортным средством [10].

Амаксофобия, представляющая собой интенсивный иррациональный страх перед вождением, существует как значимое психологическое явление в контексте современной автомобильной реальности. Проведенный анализ демонстрирует многогранную природу этого расстройства, интегрирующую психологические, физиологические и нейробиологические компоненты в сложную систему взаимосвязанных проявлений [14].

Ключевым выводом исследования выступает признание циклического характера расстройства, где когнитивные искажения, эмоциональные реакции, физиологические симптомы и избегающее поведение взаимно усиливают друг друга, формируя устойчивый патологический круг. Этот паттерн подчеркивает необходимость целостного терапевтического подхода, направленного одновременно на все уровни проявления фобии.

Важнейшим аспектом преодоления амаксофобии выступает нейропластичность мозга - способность к реорганизации и формированию новых адаптивных нейронных связей. Это создает фундамент для устойчивых изменений и возвращения к полноценной жизни, включающей комфортное и безопасное вождение [13].

Выводы

Перспективы дальнейших исследований видятся в разработке персонализированных терапевтических программ, учитывающих индивидуальные нейрофизиологические особенности и специфику формирования фобии у конкретного пациента. Интеграция достижений нейронауки с практической психологией открывает новые возможности для создания высокоэффективных протоколов коррекции.

Таким образом, амаксофобия, при всей своей сложности и многогранности, представляет собой преодолемое расстройство. Современный научный подход трансформирует её из непреодолимого препятствия в управляемую проблему, решение которой способно вернуть человеку не только способность к вождению, но и чувство контроля над собственной жизнью [12].

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. Александров А.А. Современная психотерапия. Курс лекций. СПб.: Академический проект, 2019. 576 с.
2. Васильева О.С., Филатов Ф.Р. Психология здоровья человека. М.: Академия, 2019. 352 с.
3. Воронков А.В., Киселева М.В. Специфические фобии: современные подходы к диагностике и терапии // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2021. Т. 121. №5. С. 112-118.
4. Гаранян Н.Г., Холмогорова А.Б. Когнитивно-бихевиоральная терапия тревожных расстройств // Консультативная психология и психотерапия. 2020. Т. 28. №2. С. 70-89.
5. Есаулов В.И., Петрова Н.Н. Нейробиологические механизмы тревожных расстройств // Российский психиатрический журнал. 2022. №3. С. 45-52.
6. Иванова О.С. Психологические особенности лиц с транспортными фобиями. Дис. ... канд. психол. наук. М.: МГУ, 2020. 214 с.
7. Карвасарский Б.Д. Психотерапия: учебник для медицинских вузов. 5-е изд. СПб.: Питер, 2022. 672 с.

8. Клинические рекомендации: Тревожно-фобические расстройства / Под ред. В.Н. Краснова. М.: Министерство здравоохранения РФ, 2021. 89 с.
9. Орлова М.А., Белов В.Г. Психофизиологические корреляты транспортных фобий // Экспериментальная психология. 2022. Т. 15. № 1. С. 124-136.
10. Перре М., Бауманн У. Клиническая психология и психотерапия. СПб.: Питер, 2020. 1312 с.
11. Петров К.А. Когнитивно-поведенческая терапия специфических фобий. Дис. ... канд. мед. наук. СПб.: СПбГУ, 2019. 187 с.
12. Психотерапия в общей медицинской практике / Под ред. А.Б. Холмогоровой. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2022. 416 с.
13. Терапия тревожных расстройств: алгоритмы и клинические примеры / Под ред. С.Н. Мосолова. М.: Медпресс-информ, 2021. 288 с.
14. Kushchenko L.E., Kushchenko S.V., Novikov A.N., Koroleva L.A. The Statistical Assessment Of The Traffic Situation Based On Sample Data Of Traffic Accidents In The Urban Agglomeration // Journal of Applied Engineering Science. 2023. Т. 21. №4. С. 1043-1051.
15. Гай Л.Е., Шутов А.И., Воля П.А., Кущенко С.В. Заторовые явления. Возможности предупреждения // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. №3. С. 166-168.

Кущенко Сергей Викторович

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

Акимочкина Ольга Александровна

Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева
Адрес: 302030, г. Орел, ул. Московская, д. 77
Студент
E-mail: tvk5876@rambler.ru

Ломакин Денис Олегович

Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева
Адрес: 302030, г. Орел, ул. Московская, д. 77
К.т.н., доцент, доцент кафедры сервиса и ремонта машин
E-mail: forstudentwork@mail.ru

Олейников Евгений Николаевич

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46
Студент
E-mail: igaj5644@gmail.com

S.V. KUSHCHENKO, O.A. AKIMOCHKINA, D.O. LOMAKIN, E.N. OLEYNIKOV

CLINICAL AND PSYCHOLOGICAL ANALYSIS OF AMAXOPHOBIA: FROM FORMATION MECHANISMS TO CORRECTION METHODS

***Abstract.** This article provides a comprehensive analysis of amaxophobia a pathological fear of driving. The key aspects of the disorder are considered: etiological factors (traumatic experience, psychological predictors), neurobiological mechanisms (dysfunction of the amygdala and prefrontal cortex) and multi-level clinical picture. Particular attention is given to modern treatment methods, including cognitive behavioral therapy, virtual reality technologies, and integrative approaches. The effectiveness of integrated interventions for overcoming phobias and restoring patients' quality of life is emphasized.*

***Keywords:** amaxophobia, transport phobia, fear of driving, anxiety disorders, etiology of phobias, clinical psychology, cognitive behavioral therapy, virtual reality in psychotherapy, neurobiology of fear, psychocorrection, EMDR therapy, quality of life, driver mental hygiene*

Acknowledgments

This work was carried out as part of the Priority 2030 federal university support program using equipment at the V.G. Shukhov BSTU High Technology Center.

BIBLIOGRAPHY

1. Aleksandrov A.A. Sovremennaya psikhoterapiya. Kurs lektsiy. SPb.: Akademicheskii proekt, 2019. 576 s.
2. Vasil'eva O.S., Filatov F.R. Psikhologiya zdorov'ya cheloveka. M.: Akademiya, 2019. 352 s.
3. Voronkov A.V., Kiseleva M.V. Spetsificheskie fobii: sovremennyye podkhody k diagnostike i terapii // Zhurnal nevrologii i psikiatrii im. S.S. Korsakova. 2021. T. 121. №5. S. 112-118.
4. Garanyan N.G., Holmogorova A.B. Kognitivno-bikheviornaya terapiya trevozhnykh rasstroystv // Konsul'tativnaya psikhologiya i psikhoterapiya. 2020. T. 28. №2. S. 70-89.
5. Esaulov V.I., Petrova N.N. Neyrobiologicheskie mekhanizmy trevozhnykh rasstroystv // Rossiyskiy psikhiatricheskii zhurnal. 2022. №3. S. 45-52.
6. Ivanova O.S. Psikhologicheskie osobennosti lits s transportnymi fobiyami. Dis. ... kand. psikhol. nauk. M.: MGU, 2020. 214 s.
7. Karvasarskiy B.D. Psikhoterapiya: uchebnik dlya meditsinskikh vuzov. 5-e izd. SPb.: Piter, 2022. 672 s.
8. Klinicheskie rekomendatsii: Trevozhno-fobicheskie rasstroystva / Pod red. V.N. Krasnova. M.: Ministerstvo zdavookhraneniya RF, 2021. 89 s.
9. Orlova M.A., Belov V.G. Psikhofiziologicheskie korrelyaty transportnykh fobiy // Eksperimental'naya psikhologiya. 2022. T. 15. № 1. S. 124-136.
10. Perre M., Baumann U. Klinicheskaya psikhologiya i psikhoterapiya. SPb.: Piter, 2020. 1312 s.
11. Petrov K.A. Kognitivno-povedencheskaya terapiya spetsificheskikh fobiy. Dis. ... kand. med. nauk. SPb.: SPbGU, 2019. 187 s.
12. Psikhoterapiya v obshchey meditsinskoy praktike / Pod red. A.B. Holmogorovoy. M.: GEOTAR-Media, 2022. 416 s.
13. Terapiya trevozhnykh rasstroystv: algoritmy i klinicheskie primery / Pod red. S.N. Mosolova. M.: Medpress-inform, 2021. 288 s.
14. Kushchenko L.E., Kushchenko S.V., Novikov A.N., Koroleva L.A. The Statistical Assessment Of The Traffic Situation Based On Sample Data Of Traffic Accidents In The Urban Agglomeration // Journal of Applied Engineering Science. 2023. T. 21. №4. S. 1043-1051.
15. Gay L.E., Shutov A.I., Volya P.A., Kushchenko S.V. Zatorovye yavleniya. Vozmozhnosti preduprezhdeniya // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova. 2013. №3. S. 166-168.

Kushchenko Sergey Viktorovich

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova St., 46

Candidate of technical sciences, Associate Professor, Department of Vehicle Operation and Organization

Email: serega_ku@mail.ru

Akimochkina Olga Aleksandrovna

Oryol State University named after I.S. Turgenev

Address: 302030, Russia, Oryol, Moskovskaya St., 77

Student

Email: tvk5876@rambler.ru

Lomakin Denis Olegovich

Oryol State University named after I.S. Turgenev

Address: 302030, Russia, Oryol, Moskovskaya St., 77

Candidate of technical sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Machine Service and Repair Department

Email: forstudentwork@mail.ru

Oleynikov Evgeny Nikolaevich

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova St., 46

Student

Email: igaj5644@gmail.com

Научная статья

УДК 656.13

doi: 10.33979/2073-7432-2025-4(91)-75-80

А.А. ВОЛКОВ, О.С. ГАСИЛОВА, М.В. ГРЯЗНОВ

НЕОБХОДИМОСТЬ КОРРЕКТИРОВКИ ФОРМУЛ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ АВТОТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ

***Аннотация.** На основе логических рассуждений обоснована необходимость доработки и уточнения применяемых при автотехнических исследованиях формул: определения длины остановочного пути, возможности остановки транспортного средства до столкновения с препятствием, скорости транспортного средства в начальный момент времени возникновения опасности для движения, длины следа юза, а также условий технической возможности предотвращения столкновения между автомобилем и препятствием. Намечены перспективные задачи исследований.*

***Ключевые слова:** экспертиза дорожно-транспортного происшествия, остановочный путь, тормозной путь, следы юза, техническая возможность, автотехнические исследования*

Введение

На сегодняшний день существует проблема ежегодного увеличения числа дорожно-транспортных происшествий (ДТП), что, безусловно, связано с ростом количества транспортных средств.

В Свердловской области на нерегулируемых перекрестках в 2023 г. произошло 2 770 ДТП, в результате которых 3 502 человека получили ранения и 318 человека погибло. За 11 месяцев 2024 г. зарегистрировано уже 2411 ДТП на нерегулируемых пересечениях, в результате которых 2980 человека получили ранения и 291 человек погиб.

Одной из важных и актуальных задач для разработки мероприятий по снижению числа ДТП является выявление параметров движения с целью установления причин возникновения аварийной ситуации. Расследование дорожно-транспортных происшествий сопровождается рядом процессуальных действий, которые направлены на выявление причинно-следственных связей. При этом одним из основополагающих следственных процессов является экспертиза дорожно-транспортных происшествий. Часто на выводах эксперта базируется обвинительное заключение. Заключение эксперта может стать основным доказательством по судебному делу. Поэтому при проведении экспертного исследования и вынесение окончательного решения эксперт должен руководствоваться точными методиками расчетов.

При исследовании обстоятельств дорожно-транспортного происшествия и формулировании выводов экспертизы их достоверность зависит от того, насколько точны и правильны были исходные данные – принятые к рассмотрению факты, утверждения, параметры технического состояния транспортных средств, описания дорожных условий и состояния водителей.

Причинно-следственная связь различного рода несоответствий исходной информации реальной обстановке могут быть различными: двусмысленность словесного описания окружающей обстановки и состояния дорожного полотна, установленный диапазон значений параметров и выбираемых коэффициентов относительно их отдельного табличного (справочного) значения, соотношение расчетных величин от большого числа факторов, известные погрешности производимых измерений.

Немаловажно, что результат расчетов значительно зависит от точности и абсолютности применяемых формул, точности формулирования основных понятий, таких как: время запаздывания срабатывания тормозного привода, время нарастания замедления, длина юза автомобиля и т.д.

В результате в работах многих авторов, посвященных расследованию обстоятельств и экспертизе ДТП, многократно описано, что используемая при расследовании информация несет в себе частицы неопределенности. А это, в свою очередь, неминуемо сказывается на объективности и достоверности выводов расследования.

Материал и методы

В настоящее время существует два метода автотехнических исследований: вероятностный (статистический) и детерминированный. При исследовании конкретного ДТП должен применяться детерминированный метод, то есть исследование должно проводиться с учетом параметров движения конкретного автомобиля в конкретных дорожных условиях. Однако на практике в настоящее время в автотехнических исследованиях применяется метод, который нельзя назвать ни статистическим, ни детерминированным.

Используемая при расследовании дорожно-транспортного происшествия (ДТП) информация несет в себе элементы неопределенности, что неизбежно сказывается на правильности и достоверности выводов расследования. Это во многом объясняется тем, что информация формируется апостериорно из показаний свидетелей, справок о ДТП, протоколов или постановлений по делу об административном правонарушении, данных видеорегистратора, других субъективных источников либо технических устройств, не имеющих метрологических свойств. Поэтому, большое количество применяемых при производстве автотехнических экспертиз формул требует корректировки [7].

Часто в процессе автотехнической экспертизы важно выявить возможность остановки транспортного средства до столкновения с препятствием, а также определить длину остановочного пути. Почти всегда требуется производить расчеты, поскольку в момент ДТП, как правило, отсутствуют данные объективного контроля, позволяющие провести инструментальные измерения [10].

Помимо аналитических методов исследования, требуемых результаты невозможно получить без натурных замеров в процессе торможения автомобиля, экспертного метода [9]/

Теория / Расчет

Длина остановочного пути рассматривается при экстренном торможении автомобиля, движение в процессе которого еще математически не описано [6]. Расчёт длины остановочного пути производится по упрощённой модели суммированием длин путей, которые проходит автомобиль за промежутки времени реакции водителя, запаздывания срабатывания тормозного привода, нарастания замедления и движения с установившемся замедлением. Расчёт производится по формуле [2]:

$$S_{ост} = (t_p + t_{зн} + t_{нз} - 0,5 \cdot t_{нз}) \cdot V_a^n + \frac{V_a^2}{2 \cdot j} - \frac{j \cdot t_{нз}^2}{8}, \quad (1)$$

где t_p – время реакции водителя, сек;

$t_{зн}$ – время запаздывания срабатывания тормозного привода, сек;

$t_{нз}$ – время нарастания замедления, сек;

V_a^n – начальная скорость транспортного средства, м/сек;

j – значение установившегося замедления, м/сек².

В расчётах обычно величину $\frac{j \cdot t_{нз}^2}{8}$ отбрасывают, считая, что она незначительна [1].

Однако, если транспортное средство перед экстренным торможением проехало по мокрому участку дороги, тормозные механизмы намокают [4]. При повышенной влажности накладок тормозных колодок коэффициент трения между ними и тормозными барабанами или дисками уменьшается, а $t_{нз}$ увеличивается [3]. Отклонение в меньшую сторону теоретической длины остановочного пути, рассчитанной по формуле (1), от факта может превышать 20 м, погрешность вычислений при этом составляет 25,42 %.

Это недопустимо, например, при проведении контрольных торможений, когда расчёт-

ный остановочный путь отличается от действительного на десятки метров [13]. К сожалению, большинством экспертов возможность таких отклонений не учитывается.

Кроме того, при определении возможности остановки транспортного средства до столкновения с препятствием принимается, что остановка происходит за время, согласно неравенству [12]:

$$t_{ост} > t_p + t_{zn} + t_{нз}, \quad (2)$$

Формула для определения длины остановочного пути, когда автомобиль останавливается во время нарастания замедления в научной литературе отсутствует [10]. В этом случае расчёт предлагается производить по формулам:

$$\begin{aligned} & \text{ - при } v_a'' \leq \frac{j \cdot t_{нз}}{2}: \\ & S_{ост.} = (t_p + t_{zn}) \cdot V_a'' + \frac{(V_a'')^2}{j}, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & \text{ - при } v_a'' > \frac{j \cdot t_{нз}}{2}: \\ & S_{ост.} = \frac{V_a'' \cdot (2 \cdot t_p + 2 \cdot t_{zn} + t_{нз})}{2} + \frac{(V_a'')^2}{2 \cdot j} - \frac{j \cdot t_{нз}^2}{8}, \end{aligned} \quad (4)$$

Немаловажным является определение скорости транспортного средства в начальный момент времени возникновения ДТП. При известной длине следа юза скорость транспортного средства согласно работам [2] находится по формуле

$$V_a'' = 0,5 \cdot t_{нз} \cdot j + \sqrt{2 \cdot S_{ю} \cdot j}, \quad (5)$$

где $S_{ю}$ – длина следа юза, м.

Установление длины следа юза требует учёта следующих особенностей [5]. В случае, когда при осмотре места ДТП транспортное средство находится в конце следа юза, его длина определяется инструментально до задних колес. Если же до осмотра транспортное средство по ряду причин было перемещено с места остановки, то длина следа юза определяется по формуле

$$S_{ю} = S_{\phi} - L, \quad (6)$$

где S_{ϕ} – фактическая длина тормозного следа, м;

L – база автомобиля, м.

Основанием для этого служит суждение экспертов о том, что юз задних колес бывает чаще юза передних, и что увеличение расчётной длины тормозного следа ведет к увеличению скорости и длины остановочного пути. При этом, немногие эксперты учитывают, что при экстренном торможении могут быть заблокированы все колеса транспортного средства. Так как любую потенциальную неточность следует толковать в пользу обвиняемого, целесообразно принимать, что величина S_{ϕ} включает размер базы автомобиля.

Еще одной особенностью является то, что в некоторых случаях при экстренном торможении на поверхности дорожного полотна остаются следы юза разной длины каждого из колес. Возникает неопределённость в принятии решения, какой из них следует считать расчётным. На практике принято учитывать максимальный по длине след юза одного из колес, что приводит к неоправданному завышению начальной скорости транспортного средства и может оказать влияние на выводы экспертов-автотехников [10].

Кроме того, требуется скорректировать неравенства для определения условий технической возможности предотвратить столкновение между автомобилем и препятствием, которое удаляется от автомобиля под углом α к продольной оси дороги [11]:

$$S_a - S_n \cdot \cos \alpha < T \cdot \frac{V_a - V_n \cos \alpha}{3,6} + \frac{V_a - V_n \cos \alpha}{26 \cdot j_a} \quad (7)$$

или

$$S_a - S_{\Pi} \cdot \cos \alpha > T \cdot \frac{V_a - V_n \cos \alpha}{3,6} + \frac{V_a - V_n \cos \alpha}{26 \cdot j_a}, \quad (8)$$

где S_a – удаление автомобиля от места наезда в момент возникновения опасности, м;

S_{Π} – путь, пройденный препятствием с момента возникновения опасности до момента столкновения, м;

V_a – скорость автомобиля, км/ч;

V_n – скорость препятствия, км/ч;

j_a – установившееся замедление автомобиля при экстренном торможении, м/с²;

3,6 – переводной коэффициент;

26 – переводной коэффициент.

При выполнении одного из этих условий эксперт делает вывод о технической возможности или невозможности предотвратить наезд на препятствие. Однако, правые и левые части этих условий не зависят ни от размеров автомобиля, ни от размеров препятствия, то есть согласно этим условиям неважно, что является препятствием для автомобиля – автопоезд, легковой автомобиль с прицепом, одиночное транспортное средство, велосипедист или пешеход.

Часто на практике бывают случаи, когда один или несколько автомобилей – участников ДТП имеют полную или частичную загрузку (использование пассажироместимости/грузоподъемности). Полностью загруженное транспортное средство имеет большую кинетическую энергию а значит и больший остановочный путь. Весьма проблематично объяснение особенностей экстренного торможения в этом случае, что затрудняет расчёт его параметров. На практике эксперт использует в расчётах справочные значения параметров торможения, что приводит к некорректным результатам. То есть по сути, решает задачу определения длины остановочного пути, которая не имеет отношения к рассматриваемому ДТП [10].

Результаты и обсуждение

В результате проведённых исследований на основе логических рассуждений доказана необходимость корректировки формул для проведения автотехнической экспертизы, включая формулы для определения длины остановочного пути, возможности остановки транспортного средства до столкновения с препятствием, скорости транспортного средства в начальный момент времени возникновения ДТП, длины следа юза, а также условий технической возможности предотвращения столкновения между автомобилем и препятствием.

Разработку и экспериментальное обоснование необходимых корректировок авторы настоящего исследования видят своими перспективными задачами, решение которых потребует теоретического обоснования и разработки методического обеспечения расчёта остановочного пути, а также проведения экспериментального исследования влияния на этот параметр технико-эксплуатационного состояния автомобиля и окружающей среды.

По мнению авторов настоящей статьи, теоретическое обоснование необходимо интерпретировать посредством математической модели движения автомобиля при экстренном торможении в её графическом и аналитическом виде. Методическим обеспечением реализации математической модели будет комплекс скорректированных и адаптированных для практического применения формул по расчёту скорости движения автомобиля в начальный момент торможения, длины следа юза при различных положениях автомобиля по отношению к продольной оси автодороги, времени нарастания замедления, что в итоге обеспечит возможность корректного определения длины остановочного пути.

В результате проведения экспериментальных исследований планируется установить эмпирические зависимости износа деталей тормозного привода на время его срабатывания, размера и загрузки автомобиля, размера препятствия на длину остановочного пути, а также длины остановочного пути от намокания тормозных колодок.

Выводы.

1. Большое количество применяемых при автотехнических исследованиях формул требует корректировки, поскольку используемая при расследовании ДТП информация несёт в себе элементы неопределенности, что с большой долей вероятности сказывается на пра-

вильности и достоверности результатов расследования.

2. При расчёте длины остановочного пути во время экстренного торможения не учитывается вероятность намокания деталей тормозного механизма при проезде транспортным средством водного препятствия, что приводит к снижению коэффициента трения.

3. В научной литературе отсутствует формула для определения длины остановочного пути при остановке транспортного средства при нарастании замедления. Искомый показатель определяется на основе корректировки известной формулы длины остановочного пути после полной остановки автомобиля для значений начальной его скорости меньше половины скорости замедления и начальной скорости, превышающей это значение.

4. Основой определения скорости движения транспортного средства в начальный момент возникновения ДТП является расчёт длины следа юза до задних колес, как при нахождении транспортного средства в конце следа, так и при его перемещении с места ДТП. В последнем случае, длину следа юза необходимо определять суммированием фактической длины тормозного следа и базы транспортного средства.

5. При определении условий технической возможности предотвращения столкновения между транспортным средством и препятствием, которое удаляется от него под углом к продольной оси дороги, необходимо учитывать размеры транспортного средства и размеры препятствия, поскольку эти параметры находятся в прямой зависимости от кинетической энергии сталкивающихся на дороге объектов, определяющей длину остановочного пути.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермолович М.В. Экспертиза по делам о ДТП / Под ред. И.И. Басецкого. М.: Амалфея, 2001. 96 с.
2. Иларионов В.А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий: учебник для вузов. М.: Транспорт, 1989. 255 с.
3. Карев Б.Н., Сидоров Б.А. Анализ возможностей столкновения автомобилей, движущихся в попутном направлении // Матер. науч.-техн. конф. студ. и аспирантов. Екатеринбург: УГЛУТУ, 2004.
4. Митунявичус В. К вопросу о точности расчетов и категоричности выводов при производстве авто-технических экспертиз // Проблемные вопросы развития современных методологий экспертного анализа ДТП. Киев. 2006.
5. Сидоров Б.А., Карев Б.Н. Влияние точности оценки величин параметров торможения автомобиля на выводы экспертов-техников // Современные проблемы науки и образования. 2012. №5.
6. Суворов Ю.Б., Осеичугов Е.В. Определение в экспертной практике параметров торможения авто-транспортных средств: Метод. реком. М., 1983.
7. Тарасик В.П. Теория движения автомобиля. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2006.
8. Чава И.И. Судебная автотехническая экспертиза. Исследование обстоятельств дорожно-транспортного происшествия: Учебно-методическое пособие // Библиотека эксперта. М.: ИПК РФЦСЭ. 2007. 8 с.
9. Brach, Raymond M., Brach, R. Matthew. Tire Models for Vehicle Dynamic Simulation and Accident Reconstruction // SAE Technical Paper. 2009. doi: 10.4271/2009-01-0102.
10. Карев Б.Н. Волков А.А. Обоснование необходимости уточнения основных понятий и формул автотехнической экспертизы // International journal of advanced studies. 2023. №1.
11. Gildfind D., Rees D. Acceleration-Displacement Crash Pulse Optimisation – A New Methodology to Optimise Vehicle Response for Multiple Impact Speeds // Young Automotive and Transport Executives Conference, Melbourne, VIC Australia, 2002.
12. Hiemer M. Model based detection and reconstruction of road traffic accidents. Dissertation, Universitat Karlsruhe, 2004.
13. Osterholt G., Cummings J., Biller B., Calhoun V. Updating Generic Crush Stiffness Coefficients for Accident Reconstruction // SAE Technical Paper. 2010.
14. Steffan B.C., Geigl A., Moser H. Comparison of 10 to 100 km/h rigid barrier impacts // Graz University of Technology. P. 12.

Волков Андрей Андреевич

Уральский государственный лесотехнический университет

Адрес: 620100, Россия, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37

Старший преподаватель высшей школы транспортно-технологических систем

E-mail: volkova@m.usfeu.ru

Гасилова Ольга Сергеевна

Уральский государственный лесотехнический университет

Адрес: 620100, Россия, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37

К.т.н., доцент, и.о. директора высшей школы транспортно-технологических систем

E-mail: gasilovaos@m.usfeu.ru

Грязнов Михаил Владимирович

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

Адрес: 455000, Россия, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38
Д.т.н., профессор, профессор кафедры логистики и управления транспортными системами
E-mail: gm-autolab@mail.ru

A.A. VOLKOV, O.S. GASILOVA, M.V. GRYAZNOV

THE NEED TO ADJUST FORMULAS FOR CONDUCTING AUTOMOTIVE TECHNICAL EXPERTISE

Abstract. Based on logical reasoning, the necessity of refining and refining the formulas used in automotive technical investigations is substantiated: determining the length of the stopping distance, the possibility of stopping a vehicle before colliding with an obstacle, the speed of the vehicle at the initial moment of the occurrence of a traffic accident, the length of the skid trace, as well as the conditions of the technical possibility of preventing a collision between a vehicle and an obstacle. Promising research tasks are outlined.

Keywords: examination of a traffic accident, stopping distance, braking distance, skid traces, technical possibility, automotive technical investigations

BIBLIOGRAPHY

1. Ermolovich M.V. Ekspertiza po delam o DTP / Pod red. I.I. Basetskogo. M.: Amalfeya, 2001. 96 s.
2. Ilarionov V.A. Ekspertiza dorozhno-transportnykh proisshestviy: uchebnik dlya vuzov. M.: Transport, 1989. 255 s.
3. Karev B.N., Sidorov B.A. Analiz vozmozhnostey stolknoveniya avtomobiley, dvizhushchikhsya v poputnom napravlenii // Mater. nauch.-tekhn. konf. stud. i aspirantov. Ekaterinburg: UGLTU, 2004.
4. Mitunovich V. K voprosu o tochnosti raschetov i kategorichnosti vyvodov pri proizvodstve avtotekhnicheskikh ekspertiz // Problemnye voprosy razvitiya sovremennykh metodologiy ekspertnogo analiza DTP. Kiev. 2006.
5. Sidorov B.A., Karev B.N. Vliyaniye tochnosti otsenki velichin parametrov tormozheniya avtomobilya na vyvody ekspertov-tekhnikov // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2012. №5.
6. Suvorov YU.B., Osepchugov E.V. Opredeleniye v ekspertnoy praktike parametrov tormozheniya avtotransportnykh sredstv: Metod. rekom. M., 1983.
7. Tarasik V.P. Teoriya dvizheniya avtomobilya. Sankt-Peterburg: BHV-Peterburg, 2006.
8. Chaya I.I. Sudebnaya avtotekhnicheskaya ekspertiza. Issledovanie obstayatel'stv dorozhno-transportnogo proisshestviya: Uchebno-metodicheskoe posobie // Biblioteka eksperta. M.: IPK RFTSSE. 2007. 8 s.
9. Brach, Raymond M., Brach, R. Matthew. Tire Models for Vehicle Dynamic Simulation and Accident Reconstruction // SAE Technical Paper. 2009. doi: 10.4271/2009-01-0102.
10. Karev B.N., Volkov A.A. Obosnovaniye neobkhodimosti utochneniya osnovnykh ponyatiy i formul avtotekhnicheskoy ekspertizy // International journal of advanced studies. 2023. №1.
11. Gildfind D., Rees D. Acceleration-Displacement Crash Pulse Optimisation - A New Methodology to Optimise Vehicle Response for Multiple Impact Speeds // Young Automotive and Transport Executives Conference, Melbourne, VIC Australia, 2002.
12. Hiemer M. Model based detection and reconstruction of road traffic accidents. Dissertation, Universitat Karlsruhe, 2004.
13. Osterholt G., Cummings J., Biller B., Calhoun V. Updating Generic Crush Stiffness Coefficients for Accident Reconstruction // SAE Technical Paper. 2010.
14. Steffan B.C., Geigl A., Moser H. Comparison of 10 to 100 km/h rigid barrier impacts // Graz University of Technology. P. 12.

Volkov Andrey Andreevich

Ural State Forest Engineering University
Address: 620100, Russia, Yekaterinburg, Sibirsky tract, 37
Senior lecturer of the Higher School of Transport and Technological Systems
E-mail: volkovaa@m.usfeu.ru

Gasilova Olga Sergeevna

Ural State Forest Engineering University
Address: 620100, Russia, Yekaterinburg, Sibirsky tract, 37
Ph.D. in Engineering, Acting Director of the Higher School of Transport and Technological Systems
E-mail: gasilovaos@m.usfeu.ru

Gryaznov Mikhail Vladimirovich

Nosov Magnitogorsk State Technical University
Address: 455000, Russia, Magnitogorsk, Lenin Ave., 38
Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Logistics and Transport Systems Management
E-mail: gm-autolab@mail.ru

Научная статья

УДК 621.7

doi: 10.33979/2073-7432-2025-4(91)-81-87

А.В. ГОРИН, О.В. ЯКОВЛЕНКО, К.В. ВАСИЛЬЕВ

ПРИМЕНЕНИЕ ЭФФЕКТА АДАПТАЦИИ К РЕЖИМАМ ТРЕНИЯ В ПОДШИПНИКАХ СКОЛЬЖЕНИЯ

Аннотация. В статье представлен краткий анализ развития подшипниковых узлов скольжения. Предложена концепция конструкции мехатронного подшипникового узла скольжения с механизмом адаптации к режимам трения. Показаны результаты теоретических расчетов, подтверждающие возможность образования режима адаптации подшипникового узла к различным условиям работы. Сформулированы выводы и рекомендации для дальнейших исследований предложенной конструкции мехатронного подшипника скольжения с механизмом адаптации к режимам работы

Ключевые слова: подшипник скольжения, мехатроника, режим работы, трение, адаптация

Введение

В высокоскоростных роторных машинах использование подшипников скольжения жидкостного трения фактически не имеет достойной альтернативы. По сравнению с подшипниками качения они обладают существенными преимуществами [1]: способностью работать в широком диапазоне скоростей вращения, повышенным рабочим ресурсом, компактными размерами и меньшей массой, эффективным гашением вибраций, устойчивостью к температурным и химическим воздействиям, а также пониженным уровнем шума при эксплуатации [5].

Подшипники скольжения в роторных машинах должны соответствовать ряду ключевых критериев: обладать высокой нагрузочной способностью при компактных размерах, обеспечивать низкий коэффициент трения и износостойкость в течение всего срока службы, требовать минимального расхода смазки, демонстрировать устойчивость к вибрациям в рабочих и переходных режимах, а также иметь простую и технологичную конструкцию, удобную в обслуживании [4].

Материал и методы

Способность функционировать опорных узлов в машиностроении на переходных режимах, связанных с пуском - остановом агрегата и резком возрастании нагрузки является одной из серьезных проблем [2]. Для эффективного восприятия переменных усилий преимущественно используют подшипники жидкостного трения различного конструктивного исполнения [3]. Предложено применение модифицированной геометрии подшипника, в которой внутреннее кольцо имеет сферическую форму, а внешнее - сферическую, что позволяет добиться более равномерного распределения нагрузки [6]. Используя метод конечных элементов и экспериментальные испытания, исследователи анализируют контактные напряжения, глубину износа и морфологию поверхности самосмазывающегося слоя из композитного материала на основе PTFE/Kevlar [7]. Имеются различные исследования трибологического поведения композитной смазочной системы [8]. Демонстрируется, что введение nano частиц, обладающих упорядоченной пористой структурой, позволяет значительно снизить коэффициент трения и износ в системе за счет формирования на границе контакта защитного барьерного слоя [9]. Нашли применение конструкции пористого подшипника скольжения, смазываемого наножидкостью, с учетом взаимодействия между смазочной пленкой и пористым эластичным материалом втулки [10]. Разработана математическая модель, объединяющая микроконтинуальную теорию для описания неньютоновского поведения наножидкости, содержащей наночастицы, с модифицированным законом Дарси для пористой среды и условием проскальзывания Биверса-Джозефа на границе раздела [11]. Особое внимание уделено

конструкции подшипника, где пористая втулка рассматривается как упругий слой, деформация которого под действием гидродинамического давления рассчитывается по модели Винклера. Исследовалось влияние текстурирования поверхности на гидродинамические характеристики подшипника [12]. Исследование демонстрирует, что геометрические параметры текстур (глубина, плотность, форма) существенно влияют на несущую способность и трение, а также подчеркивает важность учета переходных эффектов при текстурировании подвижных поверхностей [13]. Так же рассматривалась конструкция подшипника скольжения с самоустанавливающимися сегментами [14]. Конструктивно подшипниковый узел состоит из пяти сегментов, расположенных по окружности, с возможностью качания вокруг опорных точек, что обеспечивает адаптацию к изменяющимся нагрузкам. Особое внимание уделено влиянию геометрических параметров, таких как эксцентриситет и угол наклона сегментов, на распределение давления и температуры в масляном слое [15]. Полученные результаты могут быть полезны при проектировании адаптивных подшипников скольжения, способных оптимизировать свои характеристики в зависимости от режимов трения. Однако каждое исследование и разработка обладает своими недостатками.

Поиски новых конструктивных решений подшипников скольжения является актуальной задачей, позволяющей создать подшипниковый узел обладающий механизмом адаптации к режимам трения.

Теория

В результате анализа литературных источников и патентного поиска была определена структурно функциональная схема роторно-опорного узла в состав которой входит мехатронный подшипник скольжения с механизмом адаптации к режимам трения [16]. Схема роторно-опорного узла с мехатронным подшипником скольжения с механизмом адаптации к режимам трения представлен на рисунке 1.

Принцип работы роторно-опорного узла с мехатронным подшипником скольжения с механизмом адаптации к режимам трения заключается в следующем.

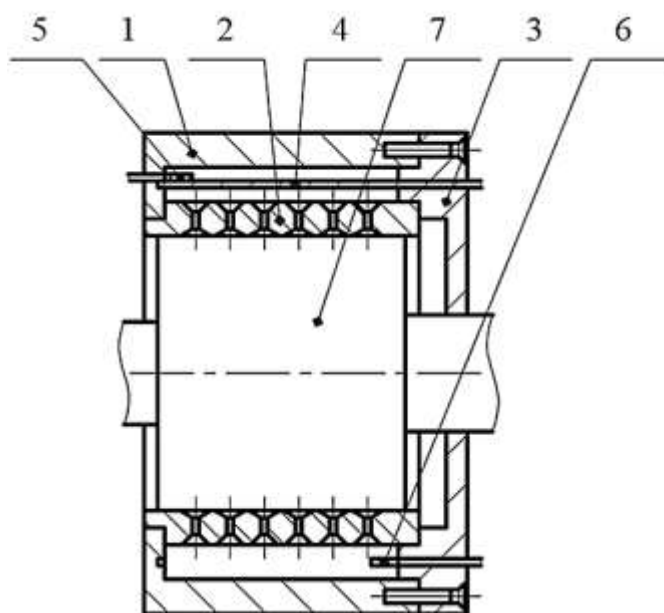


Рисунок 1 – Схема роторно-опорного узла с мехатронным подшипником скольжения с механизмом адаптации к режимам трения

Подшипник скольжения имеет наружную обойму 1 и внутреннюю втулку 2, соединенные с помощью крышки 3. Поверхность внутренней втулки 2 имеет структурированную поверхность в виде сквозных круглых каналов, через которые проникает рабочая жидкость. Обойма 1, внутренняя втулка 2 и крышка 3 образуют полость, заполненную рабочей жидкостью. В этой полости находятся нагревательные элементы 4, предназначенные для быстрого разогрева рабочей жидкости. Контроль температуры нагревательного элемента и рабочей жидкости производится датчиками температуры 5 и 6 соответственно.

В процессе пуска и переходных режимах работы механизма вал 7 может вращаться с частотами вращения ниже 1000 об/мин, что соответствует режиму

граничного трения. Для обеспечения режима жидкостного трения необходимо подать рабочую жидкость в зазор между рабочими поверхностями вала 7 и внутренней втулки 2. Подача рабочей жидкости осуществляется путем нагрева рабочей жидкости нагревательными элементами 4. Во время нагрева объем рабочей жидкости увеличивается и она поступает в рабо-

чую зону между валом 7 и внутренней втулкой 2 [17]. Контроль процесса нагрева рабочей жидкости и нагревательных элементов 4 производится датчиками температуры 5 и 6.

Для оценки возможности осуществления жидкостного режима рассчитаем объем рабочей жидкости выделяемой при нагреве и сравним с объемом жидкости в зазоре подшипника скольжения [18].

Объем жидкости в зазоре подшипника скольжения (рис. 2) определяем по формуле;

$$V_z = S_z \cdot L_z, \quad (1)$$

где S_z – площадь кольцевого сечения зазора подшипника скольжения;

L_z – длина рабочей поверхности подшипника скольжения;

$L_z = 40 \cdot 10^{-3}$ м.

$$S_z = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} = \frac{3,14 \cdot ((40 \cdot 10^{-3})^2 - (39,75 \cdot 10^{-3})^2)}{4} = 1,57 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2,$$

где $D = 40 \cdot 10^{-3}$ – диаметр втулки подшипника скольжения;

$d = 39,75 \cdot 10^{-3}$ – диаметр ступени вала под подшипник скольжения.

$$V_z = 1,57 \cdot 10^{-5} \cdot 40 \cdot 10^{-3} = 6,28 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3.$$

Объем жидкости в рабочей камере подшипника скольжения (рис. 3) находится по формуле:

$$V_k = S_k \cdot L_k \quad (2)$$

где S_k – площадь кольцевого сечения рабочей камеры подшипника скольжения;

L_k – длина рабочей камеры подшипника скольжения;

$L_k = 40 \cdot 10^{-3}$ м.

$$S_k = \frac{\pi(D_1^2 - d_1^2)}{4} = \frac{3,14}{4} (60 \cdot 10^{-3} - 50 \cdot 10^{-3})^2 = 8,64 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

где $D_1 = 60 \cdot 10^{-3}$ м – больший диаметр рабочей камеры;

$d_1 = 50 \cdot 10^{-3}$ м – меньший диаметр рабочей камеры.

$$V_k = 8,64 \cdot 10^{-4} \cdot 40 \cdot 10^{-3} = 3,45 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3.$$

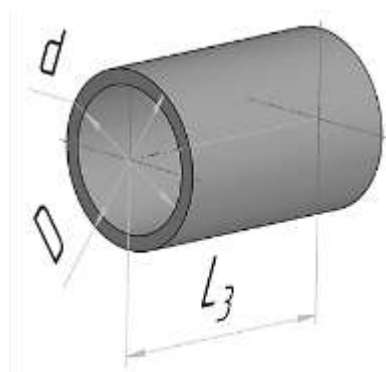


Рисунок 2 – Схема рабочего зазора подшипника скольжения

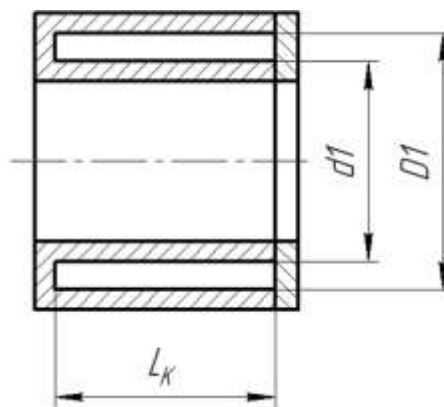


Рисунок 3 – Схема рабочей камеры подшипника скольжения

Площадь отверстий на рабочей поверхности втулки подшипника скольжения (рис. 2, 3.) определим по формуле [19]:

$$S_\Sigma = S_o \cdot n, \quad (3)$$

где $n = 18 \times 70 = 1240$ отв. – число отверстий на рабочей поверхности втулки подшипника;

S_o – площадь одного отверстия

$$S_o = \frac{\pi d_o^2}{4} = \frac{3,14}{4} (0,8 \cdot 10^{-3})^2 = 0,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2,$$

где $d_o = 0,8 \cdot 10^{-3}$ м – диаметр отверстия канала на рабочей поверхности втулки подшипника.

Сравним удвоенную площадь кольцевого сечения зазора подшипника скольжения и площадь отверстий на рабочей поверхности втулки подшипника скольжения:

$$2 \cdot S_z < S_o;$$

$$2 \cdot 1,57 \cdot 10^{-5} < 0,74 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

Подача рабочей жидкости из рабочей камеры в рабочий зазор подшипника скольжения может осуществляться по различным видам каналов. Сравним два вида каналов во втулке подшипника скольжения.

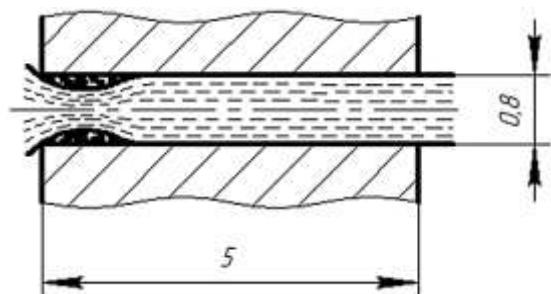


Рисунок 4 – Схема течения жидкости через цилиндрический канал

В первом случае принимаем во внимание цилиндрический канал, показанный на рисунке 4.

В этом случае струя жидкости на выходе из рабочей камеры и входе в цилиндрический канал подвергается сжатию ($d_{сж} = 0,8d$) затем постепенно расширяется и заполняет все поперечное канала. Таким образом, происходит увеличение расхода жидкости, одновременно наблюдается значительное уменьшение скорости истечения. Это происходит потому, что в месте сжатого сечения струи образуется кольцевое пространство, заполненное жидкостью, которая находится в вихреобразном круговом движении. Наличие этого

эффекта объясняет увеличение потерь напора и уменьшения скорости течения.

Во втором случае принимаем конфузorno-дифузornoй канал, представленный на рисунке 5. В конической сходящейся части канала (конфузора), кроме явления сжатия струи, которое значительно меньше чем в цилиндрическом канале, при выходе из конфузornoго участка происходит внешнее сжатие, после чего рабочая жидкость течет параллельными струйками.

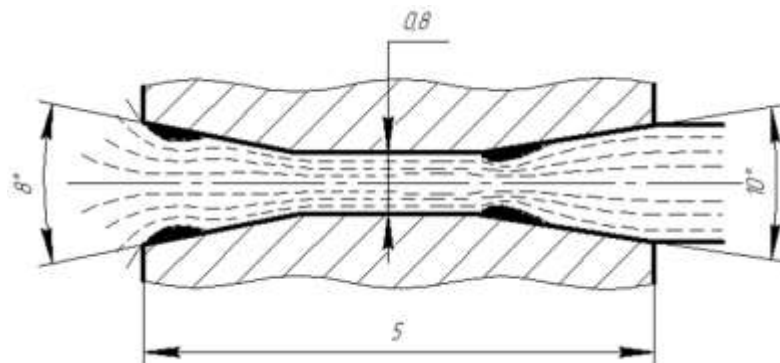


Рисунок 5 – Схема течения жидкости через конфузorno-дифузornoй канал

Благодаря незначительному внутреннему потери напора оказываются меньше чем в цилиндрическом канале. Рекомендуемый угол конфузора принимаем равным 10° . В конически расходящейся части канала (дифузоре) в месте сжатия струи создается значительный вакуум, и поэтому они обладают свойством всасывания. Принимаем угол дифузора равным 8° .

Результаты и обсуждение

Анализ полученных результатов показывает, что площадь отверстий на рабочей поверхности втулки подшипника скольжения гораздо больше, чем удвоенная площадь кольцевого сечения зазора подшипника скольжения. Следовательно, вытесняемая жидкость будет оставаться в рабочем зазоре подшипника скольжения [20].

Изменение объема жидкости в рабочей камере при нагреве определим из зависимости коэффициента теплового расширения рабочей жидкости:

$$\beta_t = \frac{1}{V_\kappa} \cdot \frac{\Delta V_\kappa}{\Delta t};$$

$$\Delta V_\kappa = \beta_t \cdot V_\kappa \cdot \Delta t, \quad (4)$$

где β_t – коэффициент теплового расширения.

Для рабочей жидкости И-20 и рабочей температуре 20-50°С

$$\beta_t = 556 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\Delta V_\kappa = 556 \cdot 10^{-6} \cdot 3,45 \cdot 10^{-5} \cdot 1 = 0,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Сравним объем в зазоре подшипника скольжения и изменение объема жидкости в рабочей камере при нагреве:

$$V_z > \Delta V_\kappa;$$

$$6,28 \cdot 10^{-6} > 0,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Объем вытесняемой жидкости меньше чем объем в зазоре подшипника скольжения. Определим коэффициент заполнения зазора по формуле:

$$K = \frac{V_z - \Delta V_\kappa}{V_z} = \frac{6,28 \cdot 10^{-6} - 0,9 \cdot 10^{-6}}{6,28 \cdot 10^{-6}} = 0,86.$$

Полученный коэффициент заполнения соответствует нагреву рабочей жидкости на 1°С, если будет нагрев жидкости на большее значение, то коэффициент будет уменьшаться до минимального значения.

Принимаем конфузорно-диффузорную форму канала во втулке подшипника скольжения, ввиду меньшего внутреннего сопротивления.

Выводы

Результаты расчетных зависимостей позволяет сделать вывод о возможности изменения режима скольжения, т.е. возникает механизм адаптации к режимам трения подшипника скольжения.

Таким образом, представленный роторно-опорный узел имеет возможность адаптироваться к режимам трения, путем изменения количества рабочей жидкости в зазоре подшипниковой пары скольжения, что обеспечивает требуемые условия эксплуатации.

Данный эффект адаптации возможно применять при начальном запуске и холостом ходу роторно-опорных узлов работающих на крайнем севере и в условиях вечной мерзлоты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артеменко Н.П. Газожидкостные опоры роторов криогенных турбонасосных агрегатов. М.: КБ Химмаш, 1993. 146 с.
2. Расчет и конструирование турбодетандеров / А.Б. Давыдов, А.Ш. Кобулашвили, А.Н. Шерстюк. М. Машиностроение, 1987. 230 с.
3. Бондаренко М.Э., Поляков Р.Н., Токмакова М.А., Серебренников А.Д. Анализ экспериментальных исследований активной комбинированной опоры ротора // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. Орел: ОГУ имени И.С. Тургенева. №1(357). 2023. С.133–140.
4. Майоров С.В., Бондаренко М.Э., Токмакова М.А., Позднякова В.А. Исследование динамики асимметричного ротора в активных комбинированных опорах // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. Орел: ОГУ имени И.С. Тургенева. №3(353). 2022. С. 73-82.
5. Бондаренко М.Э., Поляков Р.Н., Горин А.В., Позднякова В.А. Комбинированный подшипниковый узел с изменяемыми жёсткостными и демфирующими характеристиками // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. Орел: ОГУ имени И.С. Тургенева. №5(355). 2022. С.51-58.
6. R. Siva Srinivas R., Tiwari Ch. Kannababu Application of active magnetic bearings in flexible rotordynamic systems // A state-of-the-art review Mechanical Systems and Signal Processing. Vol. 106. 2018. P. 537-572.
7. Kai Feng, Han-Qing Guan, Zi-Long Zhao, Tian-Yu Liu. Active bump-type foil bearing with controllable mechanical preloads // Tribology International. Vol. 120. 2018. P. 187-202.
8. Heshmat H., Shapiro W., Gray S. Development of foil journal bearings for high load capacity and high speed whirl stability // J Tribol. 1982. №104. P. 149-56.
9. Jorge G. Salazar, Ilmar F. Santos Active tilting-pad journal bearings supporting flexible rotors: Part I // The hybrid lubrication Tribology International. Vol. 107. 2017. P. 94-105.

10. Athanasios Chasalevris, Fadi Dohnal Improving stability and operation of turbine rotors using adjustable journal bearings // Tribology International. Vol. 104. 2016. P. 369-382.
11. Jorge G. Salazar, Ilmar F. Santos Active tilting-pad journal bearings supporting flexible rotors: Part II–The model-based feedback-controlled lubrication // Tribology International., Vol. 107. 2017. P. 106-115.
12. Asger M. Haugaard, Ilmar F. Santos Multi-orifice active tilting-pad journal bearings–Harnessing of synergistic coupling effects // Tribology International. Vol. 43. 2010. P. 1374-1391.
13. Ешуткин Д.Н., Котылев Ю.Е. Прикладная теория гидравлических машин ударного действия: Монография. М.: Машиностроение – 1. 2007. 176с.
14. Ушаков Л.С., Котылев Ю.Е., Кравченко В.А. Гидравлические машины ударного действия. М.: Машиностроение, 2000. 416 с.
15. Горин А.В., Ешуткин Д.Н., Горина М.А. Объемный гидропривод комбинированной машины для образования скважин в грунтах: Монография. Орел: Госуниверситет - УНПК, 2015. 127 с
17. Бондаренко М.Э., Поляков Р.Н., Горин А.В. Исследование характеристик гибридного подшипника с газовой смазкой // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2020. №1(339). С. 107–113.
18. Горин А.В., Ушаков Л.С., Горин А.В. Влияние смазочного материала на работу импульсного гидрорепневматического привода // Гидродинамическая теория смазки-120 лет: труды междунар. науч. симп. В 2 т. М.: Машиностроение-1; Орел: ОрелГТУ. 2006. Т. 2. С. 122-124.
19. Подольский М. Е. Упорные подшипники скольжения: Теория и расчёт. Л.: Машиностроение, 1981. 261с.
20. Бондаренко М.Э., Горин А.В. Детали мехатронных модулей роботов и их конструирование. Комбинированные подшипники: учебное пособие. Орёл: ОГУ имени И.С. Тургенева, 2025. 82 с.

Горин Андрей Владимирович

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева
Адрес: 302030, Россия, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
К.т.н., доцент, кафедры мехатроники, механики и робототехники
E-mail: gorin57@mail.ru

Яковленко Оксана Владимировна

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева
Адрес: Россия, 302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29
Студент
E-mail: aksacha79@mail.ru

Васильев Кирилл Владимирович

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева
Адрес: 302030, Россия, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Студент
E-mail: rodfox@yandex.ru

A.V. GORIN, O.V. YAKOVLENKO, K.V. VASILIEV

APPLICATION OF THE ADAPTATION EFFECT TO FRICTION MODES IN SLIDING BEARINGS

Abstract. The article presents a brief analysis of the development of plain bearing units. The concept of the design of a mechatronic plain bearing unit with a mechanism for adapting to friction modes is proposed. The results of theoretical calculations are shown, confirming the possibility of forming a mode of adaptation of the bearing unit to various operating conditions. Conclusions and recommendations for further studies of the proposed design of a mechatronic plain bearing with a mechanism for adapting to operating modes are formulated.

Keywords: plain bearing, mechatronics, operating mode, friction, adaptation

BIBLIOGRAPHY

1. Artemenko N.P. Gazozhidkostnye opory rotorov kriogennykh turbonasosnykh agregatov. М.: KB Him-mash, 1993. 146 с.
2. Raschet i konstruirovaniye turbodetanderov / A.B. Davydov, A.SH. Kobulashvili, A.N. Sherstyuk. М. Mashinostroenie, 1987. 230 с.
3. Bondarenko M.E., Polyakov R.N., Tokmakova M.A., Serebrennikov A.D. Analiz eksperimental'nykh is-

sledovaniy aktivnoy kombinirovannoy opory rotora // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. Orel: OGU imeni I.S. Turgeneva. №1(357). 2023. S.133-140.

4. Mayorov S.V., Bondarenko M.E., Tokmakova M.A., Pozdnyakova V.A. Issledovanie dinamiki assimetrichnogo rotora v aktivnykh kombinirovannykh oporakh // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. Orel: OGU imeni I.S. Turgeneva. №3(353). 2022. S. 73-82.

5. Bondarenko M.E., Polyakov R.N., Gorin A.V., Pozdnyakova V.A. Kombinirovanny podshipnikovyy uzel s izmenyaemymi zhiostkostnymi i dempfiyushchimi kharakteristikami // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. Orel: OGU imeni I.S. Turgeneva. №5(355). 2022. S.51-58.

6. R. Siva Srinivas R., Tiwari Ch. Kannababu Application of active magnetic bearings in flexible rotordynamic systems // A state-of-the-art review Mechanical Systems and Signal Processing. Vol. 106. 2018. P. 537-572.

7. Kai Feng, Han-Qing Guan, Zi-Long Zhao, Tian-Yu Liu. Active bump-type foil bearing with controllable me-chanical preloads // Tribology International. Vol. 120. 2018. P. 187-202.

8. Heshmat H., Shapiro W., Gray S. Development of foil journal bearings for high load capacity and high speed whirl stability // J Tribol. 1982. №104. R. 149-56.

9. Jorge G. Salazar, Ilmar F. Santos Active tilting-pad journal bearings supporting flexible rotors: Part I // The hybrid lubrication Tribology International. Vol. 107. 2017. P. 94-105.

10. Athanasios Chasalevris, Fadi Dohnal Improving stability and operation of turbine rotors using adjustable journal bearings // Tribology International. Vol. 104. 2016. P. 369-382.

11. Jorge G. Salazar, Ilmar F. Santos Active tilting-pad journal bearings supporting flexible rotors: Part II-The model-based feedback-controlled lubrication // Tribology International., Vol. 107. 2017. P. 106-115.

12. Asger M. Haugaard, Ilmar F. Santos Multi-orifice active tilting-pad journal bearings-Harnessing of synergetic coupling effects // Tribology International. Vol. 43. 2010. P. 1374-1391.

13. Eshutkin D.N., Kotylev YU.E. Prikladnaya teoriya gidravlicheskih mashin udarnogo deystviya: Monografiya. M.: Mashinostroenie - 1. 2007. 176s.

14. Ushakov L.S., Kotylev YU.E., Kravchenko V.A. Gidravlicheskie mashiny udarnogo deystviya. M.: Mashinostroenie, 2000. 416 s.

15. Gorin A.V., Eshutkin D.N., Gorina M.A. Ob'emnyy gidroprivod kombinirovannoy mashiny dlya obrazovaniya skvazhin v gruntakh: Monografiya. Orel: Gosuniversitet - UNPK, 2015. 127 s

17. Bondarenko M.E., Polyakov R.N., Gorin A.V. Issledovanie kharakteristik gibridnogo podshipnika s gazovoy smazkoy // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. 2020. №1(339). S. 107-113.

18. Gorin A.V., Ushakov L.S., Gorin A.V. Vliyanie smazochnogo materiala na rabotu impul'snogo gidropnevmaticheskogo privoda // Gidrodinamicheskaya teoriya smazki-120 let: trudy mezhdunar. nauch. simp. V 2 t. M.: Mashinostroenie-1; Orel: OrelGTU. 2006. T. 2. S. 122-124.

19. Podol'skiy M. E. Upornye podshipniki skol'zheniya: Teoriya i raschiot. L.: Mashinostroenie, 1981. 261s.

20. Bondarenko M.E., Gorin A.V. Detali mekhatronnykh moduley robotov i ikh konstruirovaniye. Kombinirovannye podshipniki: uchebnoe posobie. Oriol: OGU imeni I.S. Turgeneva, 2025. 82s.

Gorin Andrei Vladimirovich

Orel State University

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

Candidate of technical sciences

E-mail: gorin57@mail.ru

Vasiliev Kirill Vladimirovich,

Orel State University

Address: 302026, Russia, Orel, Naugorskoe shosse, 29

Student

E-mail: rodfox@yandex.ru

Yakovlenko Oksana Vladimirovna

Orel State University

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

Student

E-mail: aksacha79@mail.ru

Научная статья
УДК 629.331.082.2
doi: 10.33979/2073-7432-2025-4(91)-88-96

Я.С. ТКАЧЕВА, С.С. ХАЖОКОВА

ПРОЕКТ СТАНЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ДЛЯ КИТАЙСКИХ АВТОМОБИЛЕЙ

Аннотация. Статья посвящена вопросам организации станции технического обслуживания для китайских автомобилей. С увеличением числа китайских автомобилей на российском рынке, необходимость в специализированной станции, предлагающей качественное и комплексное обслуживание именно таких автомобилей, становится все более актуальной. С учетом специфики китайских автомобилей, качественного обслуживания и применения современных технологий, данная станция может стать надежным партнером для владельцев автомобилей, обеспечивая им необходимые услуги и техническую поддержку. Проект позволяет улучшить клиентоориентированность, повысить уровень обслуживания и создать прочную репутацию на рынке автомобильного сервиса.

Ключевые слова: транспорт, китайских автомобиль, станция технического обслуживания, срок окупаемости, план технического обслуживания, капитальные вложения

Введение

Актуальность тему исследования заключается в том, что в настоящее время автомобили китайского бренда в большом количестве захватывают российский рынок автомобилей. Так в 2024 году было продано 258 тыс. автомобилей, китайских же автомобилей продано 162 тыс., что составляет 45 % от общего числа проданных автомобилей (рис. 1).

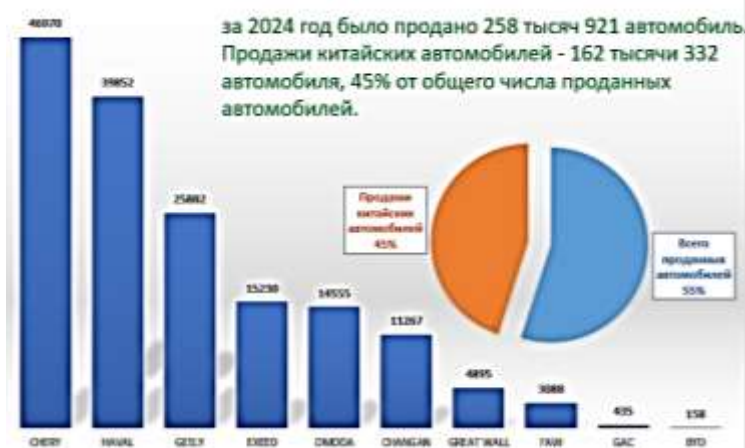


Рисунок 1 – Статистика продаж легковые автомобили китайских брендов в России за 2024 год

В нашем регионе недостаточно квалифицированных автомехаников и СТО, которые нацелены на ремонт автомобилей китайских брендов [4].

В настоящее время основными проблемами являются наличие запчастей на китайские автомобили (рис. 2). Китайских автомобилей ввезено больше, чем деталей для них, поэтому срок их ожидания может составлять от 3-х до 6-ти месяцев [5]. Несовпадение с каталогом китайских запчастей, зачастую заводская комплектация одной и той же модели отличаются, из-за чего множество деталей не подходят фактически. Также в настоящее время китайские автомобили заходят на рынок с неполной ремонтной и технической документацией, подключаться к оригинальным системам без дилерства будет сложно [3].



Рисунок 2 – Проблемы ремонта китайских автомобилей

В качестве решения предлагаем наладить поставки запасных частей из-за границы и также поддерживать их наличие на своих складах [6]. Открытие учебного центра для подготовки квалифицированных автомехаников, которые будут нацелены на ремонт только автомобилей китайского производства (рис. 3).



Рисунок 3 – Решение проблемы ремонта китайского автомобиля

Также предлагаем наладить аддитивное производство небольших пластиковых деталей для того, чтоб не ожидать их доставки из-за границы в случае отсутствия их на складе. Также разработана математическая модель потребности в запчастях, которая представлена в таблице 1 [9].

Таблица 1 - Математическая модель потребности в запчастях

Наименование детали	Модель потребности в запчастях
Бампер задний	$Y = 3,08 + (-1,02 \cos t + 1,04 \sin t)$
Фара правая	$Y = 17,08 + (-0,79 \cos t + 2,65 \sin t)$
Лобовое стекло	$Y = 21,33 + (0,62 \cos t - 1,10 \sin t)$
Крыло переднее правое	$Y = 10,92 + (1,56 \cos t + 2,48 \sin t)$
Форсунка омывателя фар	$Y = 32,17 + (-4,31 \cos t + 1,46 \sin t)$
Бампер передний	$Y = 13,67 + (-2,08 \cos t - 2,7 \sin t)$

На данной таблице представлена математическая модель потребности в запчастях. Основные факторы, которые влияют на потребность в запчастях – это кол-во автомобилей в

эксплуатации, пробег автомобилей, средний срок службы запчастей и сезонность спроса на запчасти [7].

По данным опроса «Яндекса» 66,5 % людей активно пользуются услугами СТО, возьмём среднюю цену за услугу – это 2500 рублей [1]. Отсюда найдем общий объем целевого рынка (TAM) и получим 15 млрд. рублей. На сегодняшний день в нашем регионе около 40 СТО, отсюда рассчитаем достижимый объем рынка (SOM) и получим 279 млн. рублей (рис. 4).

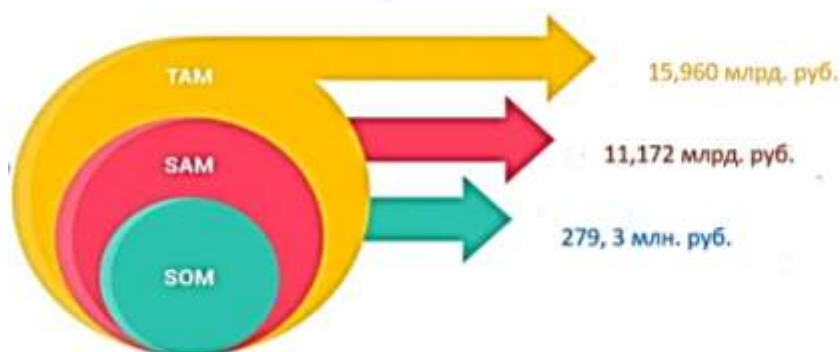


Рисунок 4 – Объем рынка услуг СТО

Разработана бизнес-модель проекта станции технического обслуживания для китайских автомобилей, которая представлена на рисунке 5. Где сегмент потребителей – это владельцы автомобилей китайского производства, которым необходимо обслуживание своего авто, ценностные предложение – это обслуживание автомобилей только китайского бренда, аддитивное производство и доступность запасных частей [8]. Источник доходов – это продажа запасных частей, ремонт и обслуживание автомобилей [10].



Рисунок 5 - Бизнес-модель проекта станции технического обслуживания для китайских автомобилей

Теория / Расчет

Для успешного функционирования станции технического обслуживания для китайских автомобилей необходимо обдуманное распределение годового объема работ [2]. Это распределение основывается на оценке потребностей рынка, понимании типов предоставляемых услуг, а также анализа рабочих процессов [11]. Эффективное распределение годового объема работ станции технического обслуживания для китайских автомобилей (табл. 2) позволяет оптимизировать рабочие процессы, оставить работников достаточное количество времени для каждой услуги и обеспечить высокое качество обслуживания клиентов [12].

Таблица 2 – Распределение годового объема работ станции технического обслуживания для китайских автомобилей

Вид работы	Объема работ		Распределение			
			на постах		на участках	
	%	чел. * час	%	чел. * час	%	чел. * час
1. Диагностика и ремонт электронных систем	15	2559,7	100	2559,7	-	-
2. Диагностика и установка углов колёс	15	2559,7	100	2559,7	-	-
3. Диагностика и ремонт подвески	20	3412,9	50	1706,4	50	1706,4
4. ТО	15	2559,7	100	2559,7	-	-
5. Шиномонтаж	10	1706,4	30	511,9	70	1194,5
6. ТР	25	4266,1	50	2133,0	50	2133,0
Итого:	100	17064,3	-	12030,3	-	5034,0

Для эффективного управления и работы станции технического обслуживания для китайских автомобилей необходимо четкое распределение численности рабочих по видам работ и услуг [13]. Грамотно организованная работа и правильное распределение функций позволят повысить качество обслуживания и удовлетворенность клиентов [14]. Расчетная и проектная численность производственных рабочих по видам работ и услуг представлена в таблице 3.

Таблица 3 - Численность производственных рабочих по видам работ и услуг

Вид работ	Годовая трудоемкость, чел. * час	Р _т , чел.		Р _ш , чел.	
		расчетное	проектное	расчетное	проектное
Постовые работы					
Диагностические	6825,7	3,3	3	3,8	4
ТО	2559,7	1,2	3	1,4	2
Шиномонтажные	511,9	0,3		0,3	1
ТР	2133,1	1,0		1,2	
Участковые работы					
Шиномонтажные	1194,5	0,6	1	0,7	1
ТР подвески	1706,4	0,8		0,9	
ТР	2133,0	1,0	1	1,2	1
Итого	17064,3	7,7	8	8,7	9

Согласно таблицы 3 следует, что на станции технического обслуживания для китайских автомобилей необходимо 8 технологических и 9 штатных производственных рабочих.

План технического обслуживания для китайских автомобилей с расположением основных и вспомогательных постов приведен на рисунке 6.

Визуализация станции технического обслуживания для китайских автомобилей представлена на рисунке 7.

Результаты

При проектировании станции технического обслуживания для китайских автомобилей необходимо учитывать различные затраты, связанные с функционированием зоны технического обслуживания и технического ремонта [16]. Затраты на зону технического обслуживания и технического ремонта станции для китайских автомобилей могут быть значительными, однако при правильном управлении и оптимизации работы, они могут быть сбалансированы и приведены к уровням, обеспечивающим прибыльность предприятия. Важно помнить, что эти затраты могут варьироваться в зависимости от региона, объемов работ и специфики предоставляемых услуг [15]. Регулярный анализ затрат поможет улучшить финансовые показатели работы СТО и повысить его конкурентоспособность на рынке (табл. 4).

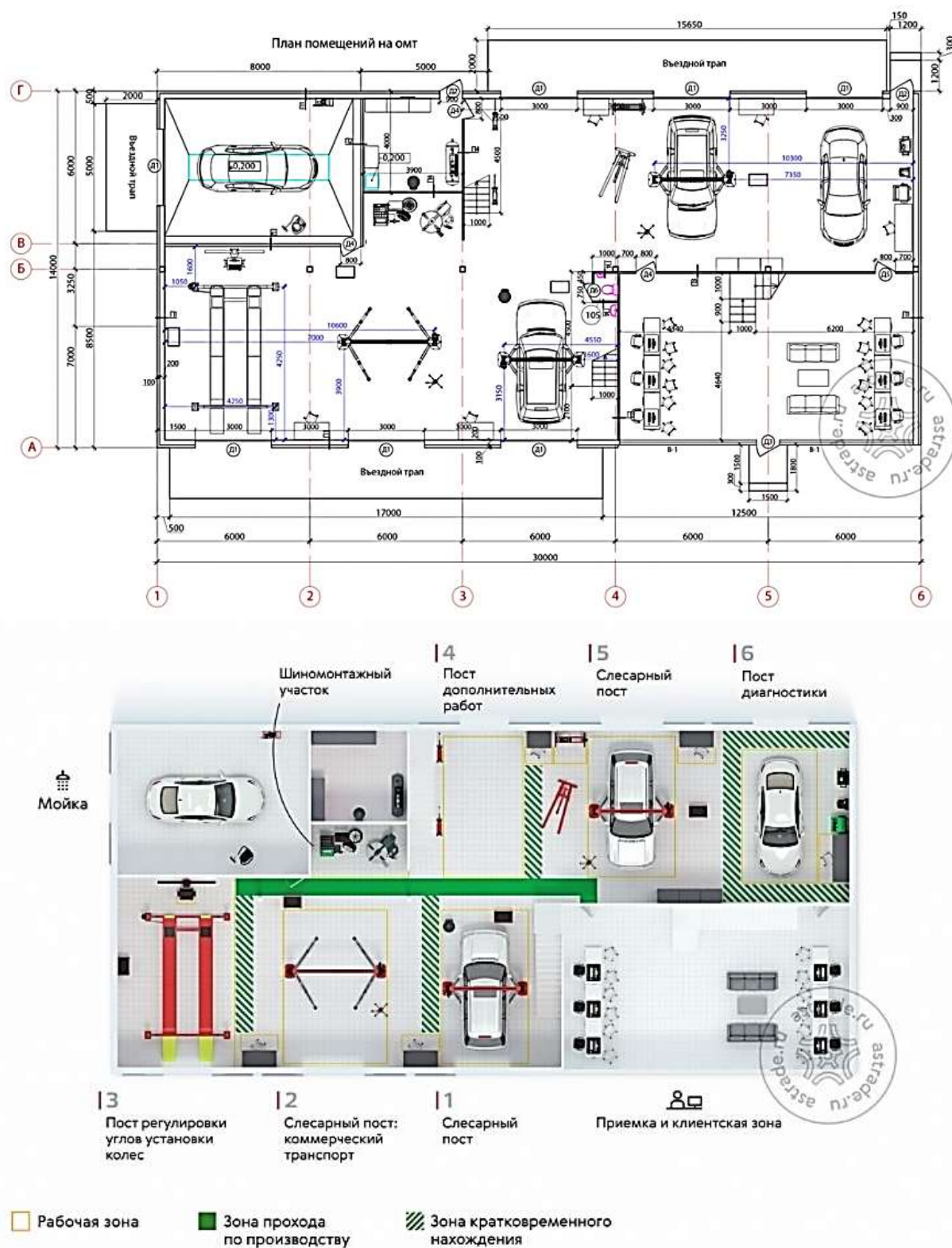


Рисунок 6 - План технического обслуживания для китайских автомобилей



Рисунок 7 - Визуализация станции технического обслуживания для китайских автомобилей

Таблица 4 - Затраты зоны ТО и ТР станции технического обслуживания для китайских автомобилей

Затраты	Сумма, тыс. руб.
1. Электроэнергия (силовая)	584
2. Отопление	68,850
3. Электроэнергия (осветительная)	33,400
4. Водоснабжение	7
5. Ремонт инвентаря	35
6. Ремонт зданий	210
7. Ремонт оборудования	494,990
8. Охрана труда, техника безопасности и спецодежда	80
9. Заработная плата	3549,312
10. Отчисления на заработную плату	1064,794
Всего затрат	5543,346

В результате проведенного расчета показателей эффективности в зону ТО и ТР - срок окупаемости капитальных вложений составил 2,7 года, что представлено в таблице 5.

Таблица 5 – Показатели эффективности зоны ТО и ТР станции технического обслуживания для китайских автомобилей

Показатели	По проекту
1. Трудоёмкость работ подразделения по ТО и ТР. чел. * час.	17064
2. Число производственных рабочих ТО и ТР. чел.	8
3. Среднемесячная заработная плата производственных рабочих по ТО и ТР. руб./мес.	36972
4. Расходы, руб.	5484381
5. Доходы, руб.	16210800
6. Чистая прибыль, руб.	10667454
7. Капитальные вложения, руб.	18186774
8. Срок окупаемости, лет.	2,7

Чтобы более полно оценить затраты зоны УМР станции для китайских автомобилей, рассмотрим дополнительные аспекты, которые могут повлиять на структуру затрат. Это поз-

волит более точно планировать бюджет и управлять финансами. В результате проведенного анализа срок окупаемости в зону УМР станции технического обслуживания для китайских автомобилей составил 2,5 года (табл. 6 и 7).

Таблица 6 - Затраты расходов зону УМР станции технического обслуживания для китайских автомобилей

Затраты	Сумма, тыс. руб.
1. Электроэнергия (силовая)	36,500
2. Отопление	3,347
3. Электроэнергия (осветительная)	4,453
4. Водоснабжение	6,955
5. Ремонт инвентаря	1,050
6. Ремонт зданий	18,900
7. Ремонт оборудования	6,500
8. Охрана труда, техника безопасности и спецодежда	5
9. Заработная плата	323,328
10. Отчисления на заработную плату	96,998
Всего затрат	485,712

Таблица 7 - Показатели эффективности зону УМР станции технического обслуживания для китайских автомобилей

Показатели	По проекту
1. Трудоёмкость УМР, чел. * час.	2526
2. Число производственных рабочих, чел.	1
3. Среднемесячная заработная плата производственных рабочих УМР, руб./мес.	26944
4. Расходы, руб.	485712
5. Доходы, руб.	1010400
6. Чистая прибыль, руб.	524688
7. Капитальные вложения, руб.	776900
8. Срок окупаемости, лет.	2,48

Выводы

Проект станции технического обслуживания для китайских автомобилей является перспективной инициативой, соответствующей тенденциям современного автосервиса. Успешная реализация этого проекта обеспечит высокий уровень обслуживания владельцев китайских автомобилей, что станет залогом дальнейшего роста и развития бизнеса. Понимание потребностей клиентов, наличие современного оборудования, квалифицированный персонал и разумная маркетинговая стратегия помогут создать конкурентоспособную СТО, способную привлечь постоянных клиентов и обеспечить стабильный доход.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шаихов Р.Ф. Анализ рынка легковых автомобилей России // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2024. №3. С. 23-29.
2. Саламатов А.П., Пестриков С.А., Мальцев Д.В. Проблема импорта китайских запасных частей в Россию // Химия. Экология. Урбанистика. 2023. Т. 2. С. 267-274.
3. Белова С.В. Особенности техобслуживания китайских автомобилей в современных условиях // Студенческая наука - первый шаг к цифровизации сельского хозяйства: Материалы IV Всероссийской студенческой научно-практической конференции. В 3-х частях. Чебоксары, 2024. С. 534-537.
4. Булатов С.В. Анализ статистических данных по расходу запасных частей при техническом обслуживании и ремонте автомобилей китайских производителей // Техничко-технологические проблемы сервиса.

2024. №2(68). С. 23-27.

5. Ременцов А.Н., Егоров В.А., Адиб Р. Анализ системы технического обслуживания автомобилей в странах ближнего востока // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №2(81). С. 3-9.

6. Гришин А.С., Сарбаев В.И., Джованис С., Гусев А.Г. Выбор поставщиков запасных частей для предприятий автосервиса // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №4-1 (83). С. 128-135.

7. Лянденбургский В.В., Иванов А.С., Сергеев Н.И. Диагностирование гидросистемы транспортно-технологических машин // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №3-1 (82). С. 3-11.

8. Новиков А.Н., Тебекин М.Д., Недолужко В.В. Использование цифровых технологий в управлении качеством и конкурентоспособностью предприятий автомобильного сервиса // III Арригиевские чтения по теме: «Путь России в будущей мировой порядок»: Материалы международной научно-практической конференции. В 2-х частях. Орёл. 2020. С. 308-318.

9. Суханов С.А., Тахтамышев Х.М., Новиков А.Н. Математические модели функционирования гаражных автосервисов в рыночных условиях // Вестник евразийской науки. 2020. Т. 12. №5. С. 26.

10. Тахтамышев Х.М., Белов С.А. Методика оптимизации мощности технической службы автотранспортных предприятий с учетом обновления парка эксплуатируемых автомобилей // Актуальные научные исследования: Материалы национальной конференции. Невинномысск. 2020. С. 130-139.

11. Семькина А.С., Загородний Н.А., Новиков А.Н. Повышение эффективности деятельности автосервисных предприятий посредством использования цифровых и информационных технологий. Белгород-Орел, 2023.

12. Гришин А.С., Сарбаев В.И., Джованис С. Система показателей оценки эффективности функционирования предприятий автосервиса // Мир транспорта и технологических машин. 2022. №3-5 (78). С. 112-119.

13. 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.

14. Чжан Юэ. Исследование потребительских предпочтений, анализ перспектив для китайских автомобилей на российском рынке // Научный аспект. 2024. Т. 6. №3. С. 735-740.

15. Булатов С.В. Анализ статистических данных по расходу запасных частей при техническом обслуживании и ремонте автомобилей китайских производителей // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2024. №2(68). С. 23-27.

16. Антипина А.А., Гайсина А.Р., Фатихова Л.Э. Обзор продаж китайских автомобилей на российском рынке за 2021-2023 гг. // Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация. 2024. №2(97). С. 159-164.

Ткачева Яна Сергеевна

Майкопский государственный технологический университет

Адрес: 385000, Россия, г. Майкоп, ул. Первомайская, д. 191

К.э.н., доцент, зав. кафедрой автомобильного транспорта

E-mail: tkachev4@mail.ru

Хажокова Саният Султановна

Майкопский государственный технологический университет

Адрес: 385000, Россия, г. Майкоп, ул. Первомайская, д. 191

К.э.н., доцент кафедры автомобильного транспорта

E-mail: sonyhazhokov@mail.ru

Y.S. TKACHEVA, S.S. KHAZHOKOVA

PROJECT OF SERVICE STATION FOR CHINESE CARS

Abstract. The article is devoted to the issues of organizing a service station for Chinese cars. With the increase in the number of Chinese cars on the Russian market, the need for a specialized station offering high-quality and comprehensive service for these cars is becoming increasingly urgent. Taking into account the specifics of Chinese cars, high-quality service and the use of modern technologies, this station can become a reliable partner for car owners, providing them with the necessary services and technical support. The project allows improving customer focus, increasing the level of service and creating a solid reputation in the car service market.

Keywords: transport, Chinese car, service station, payback period, maintenance plan, capital investment

BIBLIOGRAPHY

1. Shaikhov R.F. Analiz rynka legkovykh avtomobiley Rossii // Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya. 2024. №3. S. 23-29.
2. Salamatov A.P., Pestrikov S.A., Mal'tsev D.V. Problema importa kitayskikh zapasnykh chastei v Rossiyu // Himiya. Ekologiya. Urbanistika. 2023. T. 2. S. 267-274.
3. Belova S.V. Osobennosti tekhnologicheskikh avtomobiley v sovremennykh usloviyakh // Stundcheskaya nauka - pervyy shag k tsifrovizatsii sel'skogo khozyaystva: Materialy IV Vserossiyskoy studencheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. V 3-kh chastyakh. Cheboksary, 2024. S. 534-537.
4. Bulatov S.V. Analiz statisticheskikh dannykh po raskhodu zapasnykh chastei pri tekhnicheskoy obsluzhivani i remonte avtomobiley kitayskikh proizvoditeley // Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa. 2024. №2(68). S. 23-27.
5. Rementsov A.N., Egorov V.A., Adib R. Analiz sistemy tekhnicheskoy obsluzhivaniya avtomobiley v stranakh blizhnego vostoka // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №2(81). S. 3-9.
6. Grishin A.S., Sarbaev V.I., Dzhevyanis S., Gusev A.G. Vybory postavshchikov zapasnykh chastei dlya predpriyatiy avtoservisa // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №4-1 (83). S. 128-135.
7. Lyandenburskiy V.V., Ivanov A.S., Sergeev N.I. Diagnostirovaniye gidrosistemy transportno-tekhnologicheskikh mashin // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №3-1 (82). S. 3-11.
8. Novikov A.N., Tebekin M.D., Nedoluzhko V.V. Ispol'zovaniye tsifrovyykh tekhnologiy v upravlenii kachestvom i konkurentosposobnost'yu predpriyatiy avtomobil'nogo servisa // III Arrigievskie chteniya po teme: «Put' Rossii v budushchiy mirovoy poryadok»: Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. V 2-kh chastyakh. Oriol. 2020. S. 308-318.
9. Sukhanov S.A., Takhtamyshev H.M., Novikov A.N. Matematicheskie modeli funktsionirovaniya garazhnykh avtoservisov v rynochnykh usloviyakh // Vestnik evraziyskoy nauki. 2020. T. 12. №5. S. 26.
10. Takhtamyshev H.M., Belov S.A. Metodika optimizatsii moshchnosti tekhnicheskoy sluzhby avtotransportnykh predpriyatiy s ucheto obnovevaniya parka ekspluatiruemykh avtomobiley // Aktual'nye nauchnye issledovaniya: Materialy natsional'noy konferentsii. Nevinnomyssk. 2020. S. 130-139.
11. Semykina A.S., Zagorodniy N.A., Novikov A.N. Povysheniye effektivnosti deyatel'nosti avtoservisnykh predpriyatiy posredstvom ispol'zovaniya tsifrovyykh i informatsionnykh tekhnologiy. Belgorod-Orel, 2023.
12. Grishin A.S., Sarbaev V.I., Dzhevyanis S. Sistema pokazateley otsenki effektivnosti funktsionirovaniya predpriyatiy avtoservisa // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2022. №3-5 (78). S. 112-119.
13. Novikov A.N., Zagorodniy N.A., Duganova E.V., Novikov I.A. Sovershenstvovaniye sistemy avtoservisnogo obsluzhivaniya dlya povysheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2022. №1(76). S. 86-94.
14. CHzhan YUe. Issledovaniye potrebitel'skikh predpochteniy, analiz perspektiv dlya kitayskikh avtomobiley na rossiyskom rynke // Nauchnyy aspekt. 2024. T. 6. №3. S. 735-740.
15. Bulatov S.V. Analiz statisticheskikh dannykh po raskhodu zapasnykh chastei pri tekhnicheskoy obsluzhivani i remonte avtomobiley kitayskikh proizvoditeley // Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa. 2024. №2(68). S. 23-27.
16. Antipina A.A., Gaysina A.R., Fatikhova L.E. Obzor prodazh kitayskikh avtomobiley na rossiyskom rynke za 2021-2023 gg. // Sotsial'no-ekonomicheskie i tekhnicheskie sistemy: issledovaniye, proektirovaniye, optimizatsiya. 2024. №2(97). S. 159-164.

Tkacheva Yana Sergeevna

Maikop State Technological University

Address: 385000, Russia, Maykop, Pervomayskaya St., 191

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Head of the Automobile Transport Department

E-mail: tkachev4@mail.ru

Khazhokova Saniyat Sultanovna

Maikop State Technological University

Address: 385000, Russia, Maykop, Pervomayskaya St., 191

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Automobile Transport Department

E-mail: sonyhazhokov@mail.ru

Научная статья

УДК 656.025

doi: 10.33979/2073-7432-2025-4(91)-97-103

А.В. ГРИНЧЕНКО, Ю.Н. РИЗАЕВА, В.Э. КЛЯВИН, А.М. ШМЫРИН

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТА ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

Аннотация. Рассмотрены тенденции в организации эффективного и устойчивого транспортного обслуживания населения. Предложен концептуальный подход к созданию интеллектуальной системы городского транспорта общего назначения, ориентированной на максимально эффективное обеспечение пассажиропотоков. Определена структура интеллектуальной системы городского транспорта общего назначения, включающая в себя три основных блока: «Спрос», «Предложение» и «Управление».

Ключевые слова: интеллектуальная система, городской транспорт общего пользования, пассажиропоток, подвижной состав, интеллектуальный центр принятия решений

Введение

Современные города сталкиваются с растущими вызовами в организации эффективного и устойчивого транспортного обслуживания населения. Увеличение числа частных автомобилей, перегруженность дорожной инфраструктуры, экологические последствия и неоптимальное использование транспорта общего пользования требуют внедрения интеллектуальных систем управления, основанных на современных цифровых технологиях.

Развитие концепции «умного города» (smart city) предполагает создание интегрированных транспортных решений, способных адаптироваться к динамически изменяющимся условиям, прогнозировать спрос и оптимизировать маршруты в реальном времени. В этом контексте особую актуальность приобретает разработка концептуальной модели интеллектуальной системы городского транспорта общего пользования (ГТОП), объединяющей методы искусственного интеллекта, интернета вещей (IoT) и больших данных (Big Data) для повышения эффективности, безопасности и комфорта перевозок.

Целью данной статьи является формирование концептуальной модели интеллектуальной системы ГТОП, включающей ключевые компоненты, принципы их взаимодействия и основные направления принятия решений. Результаты исследования могут быть использованы для дальнейшей разработки и внедрения интеллектуальных транспортных систем в городской среде.

Материал и методы

Предлагаемая концептуальная модель включает в себя три основные функциональные части: «Спрос», «Предложение», «Управление».

Возможности контроля пассажиропотока («Спрос») с использованием современных технологий изложены в работах Т.В. Меркеловой, Ю.С. Коротких [1], Д.В. Петровой [2], Э.Г. Зыбиной, А.А. Кузнецовой [3], И.А. Кочетковой [4], А.Б. Куликова [5] А.В. Кулева, М.В. Кулева [6], и др. Наиболее распространённая идея – создание «умных остановок», обеспечивающих возможность контролировать пассажиропоток.

Вопросы количества подвижного состава (ПС), структуры парка и выбора ПС в зависимости от пассажиропотока («Предложение») освещены в работах И.Т. Коврикова, И.И. Любимова, Н.З. Султанова [7], И.А. Бочарова, Ю.Л. Власова, В.И. Рассохи [8], А.И. Фадеева, Е.В. Фомина [9], В.Е. Гозбенко, М.Н. Крипак, О.А. Лебедевой, С.К. Каргапольцева [10], С.В. Еремина [11], и др.

Алгоритмы управления ГТОП приведены в работах Л.С. Кригера [12], А.О. Меренкова [13], Е.В. Швецовой, Е.Е. Пролиско, В.Н. Шуть [14], А.С. Афанасьева, И.А. Шаммазова, Е.А. Кузнецовой [15], А.Н. Семкина, А.Н. Шевлякова [16]. Ю.Н. Ризаевой, П.Ю. Пушкина, А.С. Лукинова [17], А.В. Гринченко [18], и др.

Теория

Схема концептуальной модели интеллектуальной системы ГТОП представлена на рисунке 1.

В блоке «Спрос» аккумулируется информация о корреспонденциях пассажиров в системе ГТОП. Этот блок состоит из двух модулей: оценка текущего спроса и оценка регулярного спроса.

Модуль «Оценка текущего спроса» собирает информацию о намерениях пассажиров совершить поездку в системе ГТОП в режиме реального времени. Для этого могут использоваться следующие средства:

- 1) мобильные приложения;
- 2) терминалы на остановочных пунктах.



Рисунок 1 – Схема концептуальной модели интеллектуальной системы ГТОП

В своем мобильном приложении или в терминале на остановочном пункте пользователь может ввести адрес точки отправления и адрес точки прибытия в пределах городской транспортной системы. Точкой отправления может быть текущее месторасположение пользователя, которое определяется автоматически. Далее программа определит ближайшую остановку отправления и ближайшую к точке места назначения остановку прибытия, которые могут быть связаны различными маршрутами ГТОП. Данная информация со всех подключенных устройств пользователей передается на обработку в блок «Анализ текущей ситуации» интеллектуального центра принятия решений (ИЦПР).

Модуль «Оценка регулярного спроса» собирает информацию о передвижениях пассажиров в системе ГТОП без их непосредственного участия. Для этого могут использоваться различные средства:

1) система камер видеонаблюдения на остановочных пунктах и в салонах подвижного состава ГТОП;

2) платежные терминалы (транспондеры), установленные в автобусах и фиксирующие точку оплаты проезда пассажиром;

3) сим-карты в мобильных устройствах пассажиров с функцией геолокации.

Камеры видеонаблюдения на остановочных пунктах и в салонах подвижного состава ГТОП позволяют обезличено идентифицировать пассажиров, определять их точки отправления и точки прибытия, а также регулярные маршруты передвижения. Полученная информация затем передается в базу данных системы ГТОП.

В блоке «Предложение» аккумулируются данные о подвижном составе ГТОП. Этот блок состоит из трёх модулей: количество ПС на линии, структура парка и резервное количество ПС.

В модуле «Количество ПС на линии» собирается информация о нахождении ПС в различных точках транспортной сети города в текущий момент времени. Для этого могут использоваться следующие средства:

1) спутниковые системы навигации GPS/ГЛОНАСС;

2) радиомаяки и RFID-метки, устанавливаемые на подвижном составе ГТОП и считывали вдоль трассы маршрутов;

3) видеокамеры, установленные вдоль трассы маршрутов, распознающие номера подвижного состава ГТОП и фиксирующие их местоположение.

Полученная информация передается в блок «Анализ текущей ситуации» интеллектуального центра принятия решений.

Модуль «Структура парка ПС» содержит информацию о количестве ПС в зависимости от пассажироместимости, что необходимо для оптимизации применения ПС в различных условиях.

В модуле «Резервное количество ПС» находится информация о наличии ПС в резерве и местах его нахождения на стоянках в различных точках города.

Блок «Состояние УДС» в режиме реального времени выполняет мониторинг текущей ситуации, складывающейся на дорогах города: наличие значительных задержек городского трафика, заторов, «пробок» на различных участках УДС в результате ДТП, дорожных работ и других причин. Собранная информация также передается в блок «Анализ текущей ситуации» интеллектуального центра принятия решений.

Оперативный модуль центра принятия решений анализирует складывающуюся в городской транспортной системе ситуацию со спросом и предложением на пассажирские перевозки. На основании мониторинга дорожной ситуации в городе прогнозирует вероятность возникновения дорожно-транспортных происшествий. С учетом этого разрабатываются корректирующие воздействия на систему ГТОП, включающие:

– динамическое изменение трассы маршрута на основе информации о величине и направлениях пассажиропотока в текущий момент времени, а также наличии аварий, заторов на транспортной сети;

– корректировка интервалов движения в результате увеличения продолжительности простоев на конечных станциях маршрута, перераспределения ПС между маршрутами или выпуска на линию резервного ПС в зависимости от величины спроса на пассажирские перевозки;

– введение временных экспрессных или полуэкспрессных маршрутов для обслуживания пассажиропотоков большого объема между крупными центрами их зарождения и поглощения, например, во время массовых мероприятий и др.

ИЦПР передает соответствующую информацию пассажирам, водителям подвижного состава и в городскую интеллектуальную транспортную систему.

Пассажиры получают информацию о наиболее оптимальных маршрутах поездки в мобильных приложениях, в электронных табло на остановках. В целях рационального перераспределения пассажиропотоков по всей маршрутной системе возможно введение гибкой

тарификации, т.е. предоставление скидок по цене на поездки на менее загруженных в настоящий момент маршрутах. Таким образом пассажир может выбрать подходящий маршрут по скорости, времени и стоимости поездки.

Водители получают информацию в установленную на ПС систему, связанную с ИЦПР. Данная система, аналогичная используемой в перевозках опасных грузов [19], включает в себя две подсистемы:

- контроль водителя (DMS, Driver Monitoring System) на основе технологий видеоаналитики с использованием алгоритмов искусственного интеллекта;
- помощь водителю (ADAS – Advanced driver-assistance system) на основе IoT датчиков и «умной» видеокамеры.

На терминал, находящийся в кабине автобуса, водитель получает всю необходимую информацию о принятом ИЦПР маршруте движения для данного ПС.

Городская интеллектуальная транспортная система может создавать приоритетные условия для ГТОП с помощью следующих технологий и методов:

– **приоритет на светофорах («зелёная волна»; динамическое продление зелёного сигнала**, если автобус или трамвай подъезжает к перекрёстку, то система задерживает красный свет для других направлений);

– **выделенные полосы с динамическим управлением (адаптивные выделенные полосы**, которые могут временно открываться для ГТОП в часы пик или при заторах).

Информация о разрабатываемых управленческих решениях пополняет также базу данных системы ГТОП. Стратегический модуль центра принятия решений обрабатывает информацию о регулярных перемещениях населения в городе, связанные с этим корректирующие воздействия на систему ГТОП, сопоставляет с существующей базовой маршрутной системой, расписанием движения ГТОП и принимает решение о корректировании отдельных маршрутов с целью оптимизации функционирования ГТОП. Таким образом происходит машинное обучение интеллектуальной системы. База данных является основой для принятия стратегических решений интеллектуальной системой. Она должна постоянно обновляться на основе поступающей информации и результатах обработки информации стратегическим модулем центра принятия решений.

Внедрение интеллектуальной системы ГТОП позволит:

– **оптимизировать городские транспортные потоки** за счет динамического управления маршрутами и расписаниями ГТОП;

– **повысить качество транспортного обслуживания населения** в результате снижения времени ожидания, повышения скорости поездки и минимизации переполнения подвижного состава, используя персонализированные сервисы для пассажиров;

– **повысить безопасность поездок на ГТОП** благодаря мониторингу дорожной обстановки и анализу вероятности возникновения аварийных ситуаций;

– **снизить негативное воздействие ГТОП на окружающую среду** за счет повышения эффективности его использования и снижения непроизводительного пробега ПС.

Результаты и обсуждение

Предложенная концептуальная модель интеллектуальной системы ГТОП является гибкой и адаптивной за счет использования технологий искусственного интеллекта и машинного обучения, позволяющих системе реагировать на изменения состояния УДС и пассажиропотока. Система способна интегрироваться с городской интеллектуальной транспортной системой и другими сервисами «умного города», обеспечивая создание цифровой экосистемы города.

Перспективы дальнейших исследований связаны с углубленной разработкой алгоритмов управления в условиях неопределенности, изучением экономической и экологической эффективности интеллектуальной системы ГТОП, а также с вопросами внедрения модели в реальную городскую среду, включая тестирование на пилотных проектах.

Выводы

Внедрение предложенной интеллектуальной системы ГТОП способно стать важным шагом на пути к созданию комфортной, экологичной и технологически продвинутой городской среды, отвечающей вызовам современной урбанизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Меркелова Т.В., Ю. С. Коротких Способы организации мониторинга пассажиропотоков общественного транспорта // Наука без границ. 2021. №4(56). С. 48-52.
2. Петрова Д.В. Современные подходы к организации мониторинга пассажиропотоков общественного транспорта городских агломераций // International Journal of Open Information Technologies. Vol. 8. №1. 2020. С. 47-57.
3. Зыбина Э.Г., Кузнецова А.А. Современные высокотехнологичные остановочные павильоны «Умные остановки» как часть интеллектуальной транспортной системы [Электронный ресурс] / Российский экономический интернет-журнал. 2023. № 1. URL: <https://www.e-rej.ru/upload/iblock/27c/ia0cu03a2ac128b6h4jfvj1je8wdmx4.pdf>.
4. Кочеткова И.А., Евдокимов И.С., Земцева А.С. Информационные системы «Умные остановки» // Актуальные проблемы робототехники и автоматизации: Международная конференция. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_25142622_97038857.pdf.
5. Куликов А.Б. Разработка системы принятия решений при проектировании умной остановки в транспортно-пересадочных узлах городского пассажирского транспорта // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №4-1(87). С. 3-11. DOI: 10.33979/2073-7432-2024-4-1(87)-3-11.
6. Кулев А.В., Кулев М.В. Теоретические основы выбора пассажирами маршрутного транспортного средства в условиях повышения информативности о динамических показателях транспортного процесса // Мир транспорта и технологических машин. №3-3(86). 2024. С. 55-61. DOI: 10.33979/2073-7432-2024-3-3(86)-55-61.
7. Ковриков И.Т., Любимов И.И., Султанов Н.З., Фот А.П. Оптимизация структуры подвижного состава городского пассажирского транспорта // Вестник ИрГТУ. 2010. №1(41). С. 206-210.
8. Бочаров И.А., Власов Ю.Л., Рассоха В.И. Модель определения оптимального количества маршрутных транспортных средств // Вестник ОГУ. 2011. №10(129). С. 49-53.
9. Фадеев А.И., Фомин Е.В. Определение оптимальной структуры парка подвижного состава городского пассажирского транспорта общего пользования с учетом взаимного влияния маршрутов // Вестник ИрГТУ. 2018. Т. 22. №8. С. 189-198. DOI:10.21285/1814-3520-2018-8-189-198.
10. Гозбенко В.Е., Крипак М.Н., Лебедева О.А., Каргапольцев С.К. Повышение эффективности функционирования транспортной сети городского пассажирского транспорта путем применения автоматизации модели выбора оптимального подвижного состава // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2017. №2(54). С. 203-208.
11. Еремин С.В. Оптимизация структуры парка подвижного состава городского пассажирского транспорта в общей многокритериальной постановке // Мир транспорта и технологических машин. 2022. №1(76). С. 62-68.
12. Кригер Л.С. Интеллектуальная система поддержки принятия решений при управлении движением общественного транспорта // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2012. №2. С. 150-155.
13. Меренков А.О. Транспортные системы городов: развитие пассажирских сервисов цифрового типа // Транспортное дело России. 2019. №6. С. 73-75.
14. Швецова Е.В., Пролиско Е.Е., Шуть В.Н. Планирование и организация процесса перевозки в пассажирской информационно-транспортной системе // Математические методы в технологиях и технике. 2021. №4. С. 111-118. DOI: 10.52348/2712-8873_MMTT_2021_4_111.
15. Афанасьев А.С., Шаммазов И.А., Кузнецова Е.А. Методика формирования интеграционной платформы функционирования транспортной системы наземного городского пассажирского транспорта // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №4-2 (83). С. 61-69. DOI: 10.33979/2073-7432-2023-4-2(83)-61-69.
16. Семкин А.Н., Шевляков А.Н. Опыт внедрения систем координации движения общественного транспорта на примере орловской городской агломерации // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №1-1(80). С. 50-59. DOI: 10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-50-59.
17. Ризаева Ю.Н., Пушкин П.Ю., Лукинов А.С. Повышение качества транспортного обслуживания населения // Мир транспорта и технологических машин. 2025. №1-2(88). С. 12-21. DOI: 10.33979/2073-7432-2025-1-2(88)-12-21.
18. Гринченко А.В. Концепция интеллектуальной системы поддержки принятия решений при управлении внутриобластными пассажирскими перевозками // Мир транспорта и технологических машин. 2025. №1-2(88). С. 108-113. DOI: 10.33979/2073-7432-2025-1-2(88)-108-113.
19. Комзалов А. М., Шилов Н. Г. Применение современных технологий в системах помощи водителю автомобиля // Изв. вузов. Приборостроение. 2017. Т. 60. №11. С. 1077-1082.

Гринченко Александр Викторович

Липецкий государственный технический университет
Адрес: 398055, Россия, г. Липецк, ул. Московская, д. 30
К.т.н., доцент
E-mail: grinchenko_av@stu.lipetsk.ru

Ризаева Юлия Николаевна

МИРЭА - Российский технологический университет
Адрес: 119454, Россия, г. Москва, пр. Вернадского, д. 78
Д.т.н., профессор кафедры индустриального программирования
E-mail: rizaeva@mirea.ru

Клявин Владимир Эрнстович

Липецкий государственный технический университет
Адрес: 398040, Россия, г. Липецк, ул. Московская, д. 30
Д.т.н., доцент, ГНС НИИ ЛГТУ
E-mail: vllk@list.ru

Шмырин Анатолий Михайлович

Липецкий государственный технический университет
Адрес: 398040, Россия, г. Липецк, ул. Московская, д. 30
Д.т.н., профессор, заведующий кафедрой высшей математики
E-mail: amsh46@mail.ru

A.V. GRINCHENKO, Yu.N. RIZAEVA, V.E. KLYAVIN, A.M. SHMYRIN

CONCEPTUAL MODEL OF INTELLIGENT PUBLIC TRANSPORT SYSTEM

Abstract. *The article considers trends in the organization of efficient and sustainable public transport services. It proposes a conceptual approach to the creation of an intelligent public transport system aimed at the most efficient provision of passenger flows. The structure of the intelligent public transport system is defined, which includes three main blocks: «Demand», «Supply» and «Management».*

Keywords: *intelligent system, public urban transport, passenger flow, rolling stock, intelligent decision-making center*

BIBLIOGRAPHY

1. Merkelova T.V., YU. S. Korotkikh Sposoby organizatsii monitoringa passazhiropotokov obshchestvennogo transporta // Nauka bez granits. 2021. №4(56). S. 48-52.
2. Petrova D.V. Sovremennye podkhody k organizatsii monitoringa passazhiropotokov obshchestvennogo transporta gorodskikh aglomeratsiy // International Journal of Open Information Technologies. Vol. 8. №1. 2020. S. 47-57.
3. Zybina E.G., Kuznetsova A.A. Sovremennye vysokotekhnologichnye osnovnochnye pavil'ony «Umnye ostanovki» kak chast' intellektual'noy transportnoy sistemy [Elektronnyy resurs] / Rossiyskiy ekonomicheskiy internet-zhurnal. 2023. № 1. URL: <https://www.e-rej.ru/upload/iblock/27c/iia0cu03a2ac128b6h4jfvj1je8wdmx4.pdf>.
4. Kochetkova I.A., Evdokimov I.S., Zemtseva A.S. Informatsionnye sistemy «Umnye ostanovki» // Aktual'nye problemy robototekhniki i avtomatiki: Mezhdunarodnaya konferentsiya. Belgorod: BGTU im. V.G. Shukhova. 2015. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_25142622_97038857.pdf.
5. Kulikov A.B. Razrabotka sistemy prinyatiya resheniy pri proektirovanii umnoy ostanovki v transportno-peresadochnykh uzлах gorodskogo passazhirskogo transporta // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №4-1(87). S. 3-11. DOI: 10.33979/2073-7432-2024-4-1(87)-3-11.
6. Kulev A.V., Kulev M.V. Teoreticheskie osnovy vybora passazhirami marshrutnogo transportnogo sredstva v usloviyakh povysheniya informativnosti o dinamicheskikh pokazatelyakh transportnogo protsessa // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. №3-3(86). 2024. S. 55-61. DOI: 10.33979/2073-7432-2024-3-3(86)-55-61.
7. Kovrikov I.T., Lyubimov I.I., Sultanov N.Z., Fot A.P. Optimizatsiya struktury podvizhnogo sostava gorodskogo passazhirskogo transporta // Vestnik IrGTU. 2010. №1(41). S. 206-210.
8. Bocharov I.A., Vlasov YU.L., Rassokha V.I. Model' opredeleniya optimal'nogo kolichestva marshrutnykh

transportnykh sredstv // Vestnik OGU. 2011. №10(129). S. 49-53.

9. Fadeev A.I., Fomin E.V. Opredelenie optimal'noy struktury parka podvizhnogo sostava gorodskogo passazhirskogo transporta obshchego pol'zovaniya s uchetom vzaimnogo vliyaniya marshrutov // Vestnik IrGTU. 2018. T. 22. №8. S. 189-198. DOI:10.21285/1814-3520-2018-8-189-198.

10. Gozbenko V.E., Kripak M.N., Lebedeva O.A., Kargapol'tsev S.K. Povyshenie effektivnosti funktsionirovaniya transportnoy seti gorodskogo passazhirskogo transporta putem primeneniya avtomatizatsii modeli vybora optimal'nogo podvizhnogo sostava // Sovremennye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovanie. 2017. №2(54). S. 203-208.

11. Eremin S.V. Optimizatsiya struktury parka podvizhnogo sostava gorodskogo passazhirskogo transporta v obshchey mnogokriterial'noy postanovke // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2022. №1(76). S. 62-68.

12. Kriger L.S. Intellektual'naya sistema podderzhki prinyatiya resheniy pri upravlenii dvizheniem obshchestvennogo transporta // Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika. 2012. №2. S. 150-155.

13. Merenkov A.O. Transportnye sistemy gorodov: razvitie passazhirskikh servisov tsifrovogo tipa // Transportnoe delo Rossii. 2019. №6. S. 73-75.

14. SHvetsova E.V., Prolisko E.E., Shut' V.N. Planirovanie i organizatsiya protsessa perevozki v passazhirskoy informatsionno-transportnoy sisteme // Matematicheskie metody v tekhnologiyakh i tekhnike. 2021. №4. S. 111-118. DOI: 10.52348/2712-8873_MMTT_2021_4_111.

15. Afanas'ev A.S., Shammazov I.A., Kuznetsova E.A. Metodika formirovaniya integratsionnoy platformy funktsionirovaniya transportnoy sistemy nazemnogo gorodskogo passazhirskogo transporta // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №4-2 (83). S. 61-69. DOI: 10.33979/2073-7432-2023-4-2(83)-61-69.

16. Semkin A.N., Shevlyakov A.N. Opyt vnedreniya sistem koordinatsii dvizheniya obshchestvennogo transporta na primere orlovskoy gorodskoy aglomeratsii // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №1-1(80). S. 50-59. DOI: 10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-50-59.

17. Rizaeva YU.N., Pushkin P.YU., Lukinov A.S. Povyshenie kachestva transportnogo obsluzhivaniya naseleeniya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2025. №1-2(88). S. 12-21. DOI: 10.33979/2073-7432-2025-1-2(88)-12-21.

18. Grinchenko A.V. Kontseptsiya intellektual'noy sistemy podderzhki prinyatiya resheniy pri upravlenii vnutrioblastnymi passazhirskimi perevozkami // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2025. №1-2(88). S. 108-113. DOI: 10.33979/2073-7432-2025-1-2(88)-108-113.

19. Komzalov A. M., Shilov N. G. Primenenie sovremennykh tekhnologiy v sistemakh pomoshchi voditelyu avtomobilya // Izv. vuzov. Priborostroenie. 2017. T. 60. №11. S. 1077-1082.

Grinchenko Alexander Viktorovich

Lipetsk State Technical University

Address: 398055, Russia, Lipetsk, Moskovskaya str., 30

Candidate of Technical Sciences

E-mail: grinchenko_av@stu.lipetsk.ru

Klyavin Vladimir Ernstovich

Lipetsk State Technical University

Address: 398040, Russia, Lipetsk, st. Moskovskaya, 30

Doctor of Technical Sciences

E-mail: vllk@list.ru

Rizaeva Yulia Nikolaevna

MIRE A - Russian Technological University

Address: 398055, Russia, Moscow, Vernadskogo str., 78

Doctor of Technical sciences

E-mail: rizaeva@mirea.ru

Shmyrin Anatoly Mikhailovich

Lipetsk State Technical University

Address: 398040, Russia, Lipetsk, st. Moskovskaya, 30

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Higher Mathematics

E-mail: amsh46@mail.ru

Научная статья

УДК 004.023

doi: 10.33979/2073-7432-2025-4(91)-104-111

С.И. КОРЯГИН, П.М. КЛАЧЕК, Н.Х. САГАТЕЛЯН, И.В. ЛИБЕРМАН

НЕЙРО-ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ НА ТРАНСПОРТЕ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ ИНДУСТРИЯ 6.0

***Аннотация.** Рассмотрен методологический базис и прикладные инструментарии в области создания нейро-цифрового инструментария, как драйвера нейро-цифровой трансформации на транспорте. Представлен авторский подход создания инструментария нейро-цифровой трансформации на транспорте, позволяющий реализовать симбиотическое взаимодействие широкого комплекса классов искусственного интеллекта (нейро-цифровой интеллект, эмоциональный интеллект, гибридный вычислительный интеллект и т.д.) и центральных технологий Индустрии 6.0. Проведена успешная апробация инструментария нейро-цифровой трансформации на транспорте, на примере экспериментального варианта модели нейро-цифровой экосистемы транспортно-логистического обслуживания Калининградской области.*

***Ключевые слова:** интеллектуальные транспортные системы, цифровая экосистема, транспортный комплекс, стратегия развития, искусственный интеллект, индустрия 6.0*

Введение

В работе [1], на основании обширного анализа литературы подробно рассмотрено применение концепта «Индустрии 4.0» в логистике и на транспорте. Также в данной работе приведены данные ИСИЭЗ НИУ ВШЭ, в соответствии с которыми, «цифровая трансформация обеспечит дополнительный рост производительности труда на транспорте и в логистике на 20,04% до 2030 г.» [2].

Как указано в работе [3] объединенный программный офис интеллектуальных транспортных систем (ITS-JPO) Министерства транспорта США в настоящее время сформулировал ряд ключевых положений развития нейро-цифровой трансформации транспортной сферы США на основе применения передовых технологий искусственного интеллекта (ИИ), в рамках как концепции Индустрии 4.0, так и что особенно важно ее последующем развитии на основе концепций Индустрии 5.0/6.0. Развитие различных направлений в области разработки концепций нейро-цифровой трансформации на транспорте активно происходит также в странах Евросоюзе и в других странах мира [4]. В работе [5] рассмотрено создание первой в мире киберсоциальной метаэкосистемы Starbase компании SpaceX, на основе концепции Индустрии 5.0/6.0, как показательного примета развития данных технологий на западе, позволяет в кратчайшие сроки осуществить невероятный прорыв в области создания высокотехнологичных промышленных и транспортных комплексов нового поколения. В первую очередь такой высокотехнологичный прорыв, как показано в работе [6], стал возможен за счет применения новых типов прикладных инструментариев Индустрии 6.0, в том числе в области создания перспективных, интеллектуальных транспортных систем на основе концепции нейро-цифровой трансформации на транспорте, в условиях полисистемной дивергенции развития [7].

В работе [8] рассмотрены понятие, формирование и развитие концепции Индустрии 5.0 как «следующего мега этап социально-экономического развития человечества».

В работе [7] рассмотрены основы концепции Индустрии 6.0, а также представлен детальный анализ технологий Индустрии 6.0 в сравнении с Индустрией 4.0 / 5.0 (рис. 1).

Технологии Индустрии 4.0	Технологии Индустрии 5.0	Технологии Индустрии 6.0
<ul style="list-style-type: none"> • Умная цепь поставок • Аддитивное производство • Большие данные • 4G • Облачные вычисления • Добыча данных • Киберфизическая система • Возобновляемая энергия • Автономное принятие решений • Массовая кастомизация • Возможность подключения оборудования • Модульность • Удаленная рабочая сила • Умные продукты • ИИ 	<ul style="list-style-type: none"> • Цифровые двойники • Адаптивная умная фабрика • Коботы • Умные продукты • Виртуализация • Массовая персонализация • 5G • Биоэкономика • Футуристическое умное общество • Предотвращение образования отходов • Рабочая сила на месте • Интерактивные продукты • Отзывчивая и распределенная цепочка поставок • Совместный интеллект 	<ul style="list-style-type: none"> • Виртуальные двойники (в том числе виртуальный двойник человека) • Эмоциональный интеллект машин • Генеративный интеллект • Параллельный интеллект • Гетерогенные роботы (в том числе человекоподобные) • Иммерсивность • Пространственные вычисления • Мультиагентные системы • 6G • Облачная возобновляемая энергия • Квантовые технологии • Когнитивные технологии • Антихрупкость • Зеленая устойчивость

Рисунок 1 - Технологии Индустрии 6.0 в сравнении с Индустрией 4.0 / 5.0 [7]

В настоящее время можно с уверенностью можно сказать, что РФ занимает лидирующее место в мировой науке в области разработки как оригинальной методологии, так и прикладных системы управления различных типов и соответствующего практического инструментария Индустрии 5.0/6.0. Как отмечено в работе [7] «В России есть значительные возможности для реализации будущей Индустрии 6.0, благодаря развитию ИИ и экономики данных, которые уже закреплены как ключевые направления национального развития».

Таким образом в РФ существуют все необходимые предпосылки для решения важной, стратегической задача – разработка концептуальных и технологических решений в области нейро-цифровой трансформации на транспорте, с учетом мирового опыта, позволяющих в рамках стратегии научно-технологического развития РФ до 2035 года [9], обеспечить развитие приоритетных направлений устойчивого положения России на внешнем рынке на основе формирования отечественных, прорывных технологий на транспорте [10].

Целью данного исследования является разработка и практическая апробация теоретических положений, методологических элементов, научно-прикладных инструментов и практических рекомендаций, формирующих общую концепцию нейро-цифровой трансформации на транспорте в РФ.

Материал и методы

В работе [11] профессора Клейнер Г.Б. рассмотрены основы экосистемного подхода, предложена структура социально-экономических, промышленных, транспортных и т.д. экосистем, состоящая из объектного, средового, процессного и проектного уровней.

В работе [5], на основе развития, предлагаемых в работе [12] академиком РАН В.Л. Квинтом и профессором С.Д. Бодруновым фундаментальных основ теории стратегирования, рассмотрен нейро-цифровой инструментарий стратегического целеполагания и планирования Индустрии 5.0/6.0 (рис. 2).

В работе [5] рассмотрен пример успешного применения, представленного на рисунке 4. Нейро-цифровой инструментарий стратегического целеполагания и планирования Индустрии 5.0/6.0 для создания кибер социальной системы глобального архитектурного мышления» компании SpaceX, позволяющей реализовывать перспективные виды когнитивного производства, а также интеллектуальных транспортных систем различных типов, на основе концепции нейро-цифровой трансформации на транспорте.

На рисунке 3 представлен авторский инструментарий нейро-цифровой трансформации на транспорте, разработанный на основе экосистемного подхода профессор Клейнер Г.Б., теории стратегирования (В.Л. Квинт, С.Д. Бодрунов) и нейро-цифрового инструментария стратегического целеполагания и планирования Индустрии 5.0/6.0, разработанного и усовершенствованного на основе концепций Индустрии 5.0/6.0.

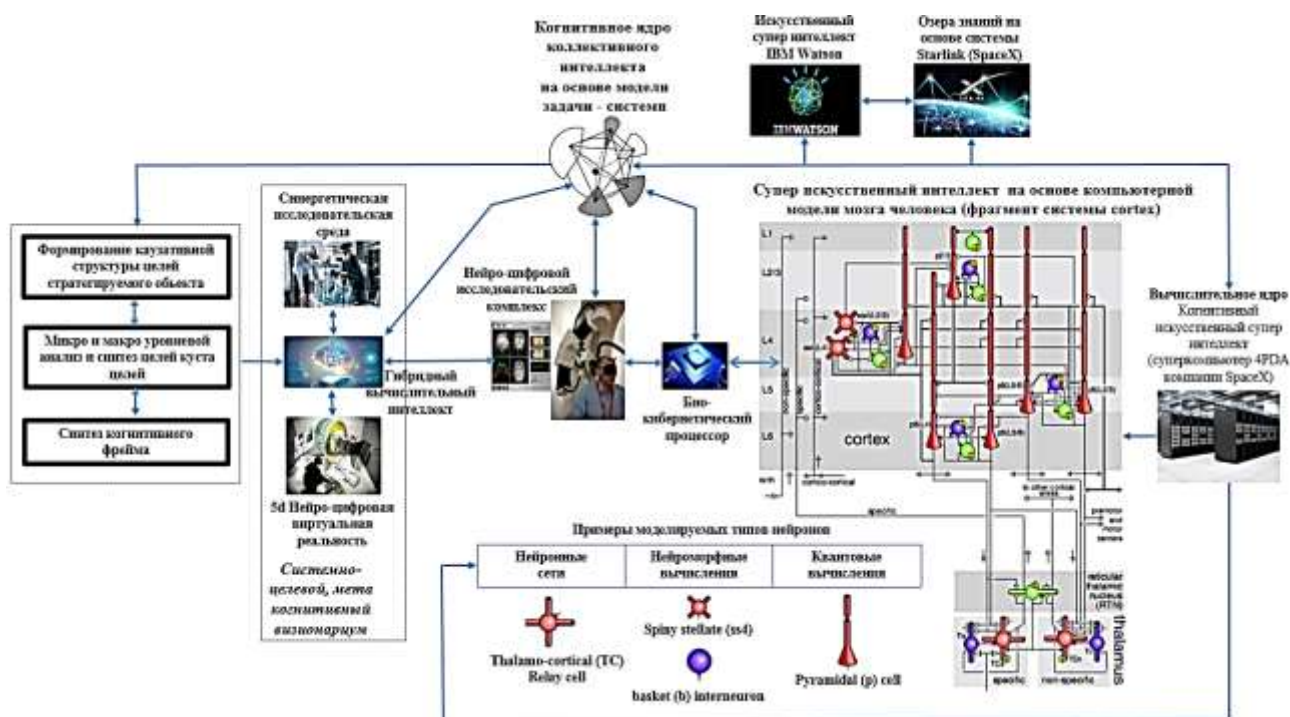


Рисунок 2 - Нейро-цифровой инструментарий стратегического целеполагания и планирования Индустрии 5.0/6.0 [5]



Рисунок 3 - Инструментарий нейро-цифровой трансформации на транспорте

В основу представленного на рисунке 3 инструментария нейро-цифровой трансформации на транспорте положена обобщенная модель стратегирования транспортных систем (различных типов и назначений) (рис. 4), развивающая, в рамках концепции Индустрии 5.0/6.0, предлагаемое в работе [12] академиком РАН В.Л. Квинтом и профессором С.Д. Бодруновым фундаментальное понимание «Целеполагания, миссии видения, целей и задач стратегии».



Рисунок 4 - Обобщенная модель стратегирования транспортных систем (различных типов и назначений) [5]

Теория / Расчет

Современный транспортный комплекс Калининградской области характеризуется высокой степенью изменчивости, в его состав входят практически все виды транспорта (за исключением метрополитена). Ключевыми задачами транспортного комплекса являются как организация пассажирских и грузовых перевозок внутри региона, так и обеспечение межрегиональных (в том числе международных) перевозок. Один из приоритетов развития Калининградской области - развитие ее транспортного комплекса, что необходимо для поддержания полноценного транспортного сообщения с основной территорией России. Программа развитие транспортной инфраструктуры в Калининградской области до 2030 г. предусматривает приоритетное применение для ее реализации инструментариев цифровой трансформации и искусственного интеллекта. Таким образом, по мнению авторов Калининградская область является прекрасным вариантом для апробации инструментария нейро-цифровой трансформации на транспорте (рис. 3).

На основе предложенного на рисунке 3 инструментария нейро-цифровой трансформации на транспорте, авторами разработан прикладной, экспериментальный вариант модели цифровой экосистемы транспортно-логистического обслуживания Калининградской области (рис. 5).

В основу представленной на рисунке 5 модели цифровой экосистемы транспортно-логистического обслуживания Калининградской области положена, рассмотренная в работе [13], концепция и прикладной инструментарий создания цифровых экосистем транспортно-логистического обслуживания платформенного типа. Представленный на рисунке 5 экспериментальный вариант модели нейро-цифровой экосистемы транспортно-логистического обслуживания Калининградской области позволяет перейти к созданию модульных прикладных инструментариев, перспективной кросс-отраслевой [14] экосистемы Калининградской области, на основе применения технологий Индустрии 5.0/6.0.

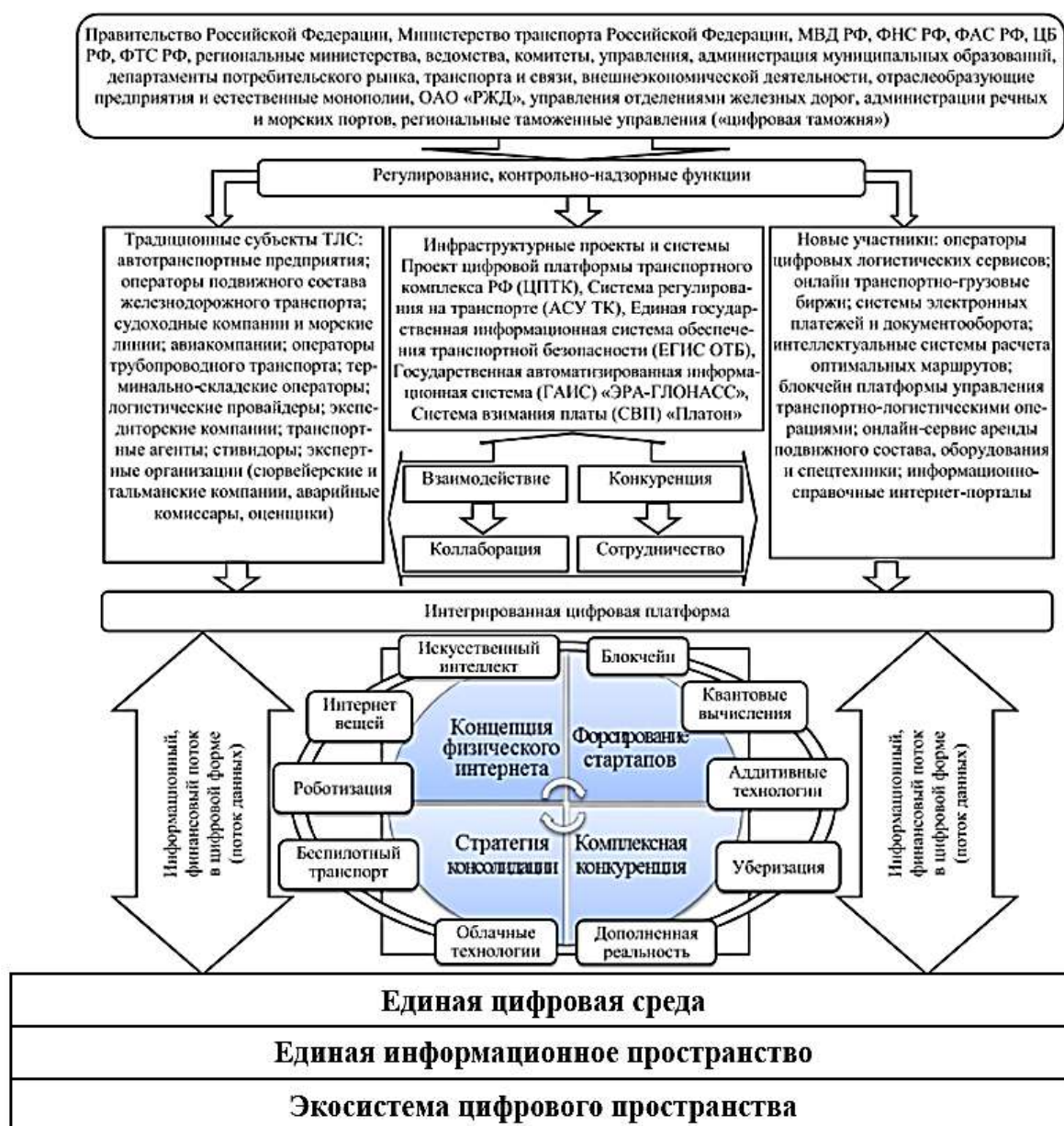


Рисунок 5 - Экспериментальный вариант модели нейро-цифровой экосистемы транспортно-логистического обслуживания Калининградской области

Результаты

Результаты исследования включают:

- разработан концептуальный подход нейро-цифровой трансформации транспорта, на основе нейро-цифрового инструментария стратегического целеполагания и планирования Индустрии 5.0/6.0, базирующийся на авторском системно-синергетическом подходе;
- предложен авторский подход создания инструментария нейро-цифровой трансформации на транспорте на основе обобщенной модели стратегирования транспортных систем (различных типов и назначений), позволяющий реализовать симбиотическое взаимодействие широкого комплекса классов искусственного интеллекта (нейро-цифровой интеллект, эмоциональный интеллект, гибридный вычислительный интеллект и т.д.) и центральных технологий Индустрии 6.0;
- проведена успешная апробация инструментария нейро-цифровой трансформации на транспорте, на примере экспериментального варианта модели нейро-цифровой экосистемы транспортно-логистического обслуживания Калининградской области, позволяющая перейти к созданию и последующей типизации перспективной кросс-отраслевой, транспортной эко-

системы.

Обсуждение

Курс на цифровую трансформацию в настоящее время находится в фокусе государственных программ развития во многих странах мира. В этой области уже достигнуты большие успехи. Как отмечено в работе [15] по прогнозам экспертов, в результате цифровой трансформации транспортной отрасли на основе применения интеллектуальных технологий до 2027 года можно будет сгенерировать 1,5 трлн долл. США стоимости для участников транспортно-логистических операций и еще 2,4 трлн долл. США - социальных выгод для населения (Всемирный экономический форум, 2021 г.), что свидетельствует о значительном потенциале нейро-цифровых подходов трансформации на транспорте. Кроме того, ускорение цифровизации транспорта на основе перспективных нейро-цифровых инструментариев, как показано в работе [15], будет способствовать обеспечению связности территорий, повышению безопасности при перевозках, повышению эффективности грузовых и пассажирских перевозок, снижению нагрузки на окружающую среду и т.д. Интеллектуальные транспортные системы сложны по своей природе, образованы различными элементами (такими как цифровая инфраструктура, физическая инфраструктура, виды транспорта, пользователи транспорта и т.д.), которые взаимодействуют и влияют друг на друга. Синергетическое взаимодействие между этими подсистемами на основе нейро-цифровой подходов и инструментариев [7], в рамках концепции Индустрии 5.0/6.0, позволяющее на принципиально новом уровне (дивергентного взаимодействия [7]) обеспечивать взаимодействия между различными компонентами, а также своевременно выявлять тенденции и пробелы, которые, в свою очередь, могут использоваться для достижения целей безопасности и устойчивости транспортных систем.

Выводы

Рассмотренный в работе методологический базис и прикладные инструментарии в области создания нейро-цифрового инструментария, как драйвера нейро-цифровой трансформации на транспорте, а также накопленный экспериментальный опыт применения отдельных элементов данной среды, позволяет авторам поставить задачу и начать исследования в области создания комплексной методологии нейро-цифровой трансформации на транспорте, а также сформулировать основные направления формирования стратегий, в том числе принятие и реализация дополнительных национальных проектов в области нейро-цифровой трансформации на транспорте в РФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жуков Н.С., Каранина Е.В. Цифровая трансформация сферы логистики. Логистика 4.0 как инструмент минимизации рисков // Проблемы анализа риска. 2022. Т. 19. №4. С. 62-70.
2. Абдрахманова Г.И., Быховский К.Б., Веселитская Н.Н. [и др.]. Цифровая трансформация отраслей: стартовые условия и приоритеты // Доклад к XXII Апрельской международной научной конференции по проблемам развития экономики и общества. Москва: Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». 2021. 239 с.
3. Toorajipour R., Sohrabpour V., Nazarpour A., Oghazi P., Fischl M. Artificial intelligence in supply chain management: A systematic literature review // Journal of Business Research. 2021. P. 502-517.
4. Wang H., Wang Z., Chen D., Liu Q., Ke H., Han K. Metamobility // IEEE Vehicular Technology Magazine. 2023. P. 1-11.
5. Бабкин А.В., Корягин С.И., Богданова А.А., Сагателян Н.Х. Индустрия 5.0: Нейро-цифровой инструментарий стратегического целеполагания и планирования // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2022. №3(61). С. 64-85.
6. Бабкин А.В., Либерман И.В., Клачек П.М., Шкарупета Е.В. Индустрия 6.0: методология, инструментарий, практика // π-Economy. 2025. №18(1). С. 21-56.
7. Бабкин А.В., Шкарупета Е.В. Индустрия 6.0: сущность, тенденции и стратегические возможности для России // Экономика промышленности. 2024. №17(4). С.353-377.
8. Бабкин А.В., Федоров А.А., Либерман И.В., Клачек П.М. Индустрия 5.0: понятие, формирование и развитие // Экономика промышленности. 2021. №4. С. 375-395.
9. Стратегия научно-технологического развития РФ до 2035 года. Утверждена указом президента РФ от 1 декабря 2016 года № 642.

10. Архипов А.Е., Ряписов А.Е. Трансформация транспортной отрасли России под влиянием цифровых технологий // Экономика и бизнес: теория и практика. 2020. №4-1(62). С. 22–24.
11. Клейнер Г.Б. Социально-экономические экосистемы в контексте дуального пространственно-временного анализа // Экономика и управление: проблемы, решения. 2018. №5. С. 5-13.
12. Квинт В.Л., Бодрунов С.Д. Стратегирование трансформации общества: знание, технологии, ноономика: Монография. СПб.: ИНИР им. С. Ю. Витте, 2021. 351 с.
13. Булатова Н.Н., Дудин В.С., Алексеев А.В. Формирование цифровой экосистемы региональной транспортно-логистической инфраструктуры // π-Есопому. 2024. №17(3). С. 68-80.
14. Дмитриев А.В., Нос В.А. Цифровые экосистемы транспортно-логистического обслуживания в условиях устойчивого развития // Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ). 2022. №3(79). С. 19-25. DOI: 10.54220/v.rsue.1991-0533.2022.79.3.002.
15. Toorajipour R., Sohrabpour V., Nazarpour A., Oghazi P., Fischl M. Artificial intelligence in supply chain management: A systematic literature review // Journal of Business Research. 2021. P. 502-517.

Корягин Сергей Иванович

Балтийский федеральный университет им. И. Канта
Адрес: 236041, Россия, г. Калининград, ул. А.Невского, д. 14
Д.т.н., профессор, профессор
E-mail: skoryagin@kantiana.ru

Клачек Павле Михайлович

Балтийский федеральный университет им. И. Канта
Адрес: 236041, Россия, г. Калининград, ул. А.Невского, д. 14
К.т.н., доцент, доцент
E-mail: pklachek@mail.ru

Сагателян Нарине Хореновна

Балтийский федеральный университет им. И. Канта
Адрес: 236041, Россия, г. Калининград, ул. А.Невского, д. 14
Старший преподаватель
E-mail: NaSagatelyan@kantiana.ru

Либерман Ирина Владимировна

Балтийский федеральный университет им. И. Канта
Адрес: 236041, Россия, г. Калининград, ул. А.Невского, д. 14
К.ф.-м.н., доцент, доцент
E-mail: iliberman@kantiana.ru

S.I. KORYAGIN P.M. KLACHEK, N.H. SAGATELYAN, I.B. LIBERMAN

NEURO-DIGITAL TRANSFORMATION IN TRANSPORT BASED ON THE INDUSTRY 6.0 CONCEPT

Abstract. *The article considers the methodological basis and applied tools in the field of creating neuro-digital tools as a driver of neuro-digital transformation in transport. The author's approach to creating tools for neuro-digital transformation in transport is presented, which allows implementing a symbiotic interaction of a wide range of artificial intelligence classes (neuro-digital intelligence, emotional intelligence, hybrid computational intelligence, etc.) and the central technologies of Industry 6.0. A successful testing of the tools for neuro-digital transformation in transport was carried out, using the example of an experimental version of the model of the neuro-digital ecosystem of transport and logistics services in the Kaliningrad region.*

Keywords: *intelligent transport systems, digital ecosystem, transport complex, development strategy, artificial intelligence, Industry 6.0*

BIBLIOGRAPHY

1. ZHukov N.S., Karanina E.V. Tsifrovaya transformatsiya sfery logistiki. Logistika 4.0 kak instrument minimizatsii riskov // Problemy analiza riska. 2022. T. 19. №4. S. 62-70.

2. Abdrakhmanova G.I., Bykhovskiy K.B., Veselitskaya N.N. [i dr.]. Tsifrovaya transformatsiya otrasley: startovye usloviya i priority // Doklad k XXII Aprel'skoy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii po problemam razvitiya ekonomiki i obshchestva. Moskva: Natsional'nyy issledovatel'skiy universitet «Vysshaya shkola ekonomiki». 2021. 239 s.
3. Toorajipour R., Sohrabpour V., Nazarpour A., Oghazi P., Fischl M. Artificial intelligence in supply chain management: A systematic literature review // Journal of Business Research. 2021. R. 502-517.
4. Wang H., Wang Z., Chen D., Liu Q., Ke H., Han K. Metamobility // IEEE Vehicular Technology Magazine. 2023. R. 1-11.
5. Babkin A.V., Koryagin S.I., Liberman I.V., Klachek P.M., Bogdanova A.A., Sagatelyan N.H. Industriya 5.0: Neyro-tsifrovoy instrumentariy strategicheskogo tselepolaganiya i planirovaniya // Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa. 2022. №3(61). S. 64-85.
6. Babkin A.V., Liberman I.V., Klachek P.M., SHkarupeta E.V. Industriya 6.0: metodologiya, instrumentariy, praktika // ?-Economy. 2025. №18(1). S. 21-56.
7. Babkin A.V., SHkarupeta E.V. Industriya 6.0: sushchnost', tendentsii i strategicheskie vozmozhnosti dlya Rossii // Ekonomika promyshlennosti. 2024. №17(4). S.353-377.
8. Babkin A.V., Fedorov A.A., Liberman I.V., Klachek P.M. Industriya 5.0: ponyatie, formirovanie i razvitie // Ekonomika promyshlennosti. 2021. №4. S. 375-395.
9. Strategiya nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya RF do 2035 goda. Utverzhdena ukazom prezidenta RF ot 1 dekabrya 2016 goda № 642.
10. Arkhipov A.E., Ryapisov A.E. Transformatsiya transportnoy otrasli Rossii pod vliyaniem tsifrovyykh tekhnologiy // Ekonomika i biznes: teoriya i praktika. 2020. №4-1(62). S. 22-24.
11. Kleynner G.B. Sotsial'no-ekonomicheskie ekosistemy v kontekste dual'nogo prostranstvenno-vremennogo analiza // Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya. 2018. №5. S. 5-13.
12. Kvint V.L., Bodrunov S.D. Strategirovanie transformatsii obshchestva: znanie, tekhnologii, noomika: Monografiya. SPb.: INIR im. S. YU. Vitte, 2021. 351 s.
13. Bulatova N.N., Dudin V.S., Alekseev A.V. Formirovanie tsifrovoy ekosistemy regional'noy transportno-logisticheskoy infrastruktury // Economy. 2024. №17(3). S. 68-80.
14. Dmitriev A.V., Nos V.A. Tsifrovye ekosistemy transportno-logisticheskogo obsluzhivaniya v usloviyakh ustoychivogo razvitiya // Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta (RINH). 2022. №3(79). S.19-25. DOI: 10.54220/v.rsue.1991-0533.2022.79.3.002.
15. Toorajipour R., Sohrabpour V., Nazarpour A., Oghazi P., Fischl M. Artificial intelligence in supply chain management: A systematic literature review // Journal of Business Research. 2021. R. 502-517.

Koryagin Sergey Ivanovich

Immanuel Kant Baltic Federal University
Address: 236041, Russia, Kaliningrad, Nevskogo Street, 14 A
Doctor of Engineering, Professor, Professor
Email: skoryagin@kantiana.ru

Klachek Pavle Mikhailovich

Immanuel Kant Baltic Federal University
Address: 236041, Russia, Kaliningrad, Nevskogo Street, 14 A
Candidate of Engineering, Associate Professor, Associate Professor
Email: pklachek@mail.ru

Sagatelyan Narine Khorenovna

Immanuel Kant Baltic Federal University
Address: 236041, Russia, Kaliningrad, Nevskogo Street, 14 A
Senior Lecturer
Email: NaSagatelyan@kantiana.ru

Liberman Irina Vladimirovna

Immanuel Kant Baltic Federal University
Address: 236041, Russia, Kaliningrad, Nevskogo Street, 14 A
Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor
Email: iliberman@kantiana.ru

Научная статья

УДК 656.1:614.8

doi: 10.33979/2073-7432-2025-4(91)-112-119

А.И. НЕДОБИТКОВ, А.И. ОХОТЕНКО, Ж.А. ШАЯХМЕТОВА, Ю.А. НЕДОБИТКОВ

ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТА ПОЛЕТА БПЛА ПРИ СОЗДАНИИ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ МЕСТА ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОГО ПРОИСШЕСТВИЯ

***Аннотация.** На примере конкретных дорожно-транспортных происшествий представлены результаты использования беспилотного летательного аппарата и программного обеспечения Agisoft Metashape. Экспериментальным методом определен оптимальный маршрут полета беспилотного летательного аппарата с целью создания цифровой модели участка дорожно-транспортного происшествия. Полученные в результате использования предложенного маршрута ошибки измерений находятся в диапазоне 0–5 см., что значительно ниже обычного предела погрешности при традиционном оформлении материалов. Предложенный маршрут полета БПЛА при создании цифровой модели участка дорожно-транспортного происшествия может быть использован в практической деятельности специалистов, занимающихся исследованием механизма ДТП.*

***Ключевые слова:** дрон, маршрут полета, цифровая модель, дорожно-транспортное происшествие*

Введение

Согласно резолюции A/RES/74/299 Генеральная Ассамблея Организации Объединенных Наций поставила амбициозную цель -сократить к 2030 году вдвое глобальное число смертей и травм в результате дорожно-транспортных происшествий [1].

В работе [2] наглядно проиллюстрировано, что самый эффективный способ сократить количество дорожно-транспортных происшествий - это выяснить причину и последовательность событий, вызывающих аварию, заблокировать цепочку факторов, приводящих к инциденту, а затем административно-техническими методами сократить их количество. Для предотвращения аварий, связанных с нарушением безопасности дорожного движения, рекомендуется использовать передовые технологии, в том числе высокотехнологичные средства [2].

С другой стороны, автором статьи [3] отмечено, что механизм ДТП часто носит сложный и неочевидный характер, кроме того, часто представленные первичные материалы для производства экспертизы недостаточны для решения диагностических задач. Данное обстоятельство затрудняет решение проведения экспертиз по делам о ДТП, в том числе транспортно-трасологических

В ряде работ, в том числе [4], показано, что собрать достоверную исходную информацию о состоянии улично-дорожной сети, дорожных условиях возможно на основе использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Также, авторами [5] анализируются методы использования БПЛА в сфере мониторинга дорожного движения с целью повышения его безопасности.

Следует напомнить, что рамках работы United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) был принят стандарт SAE J3016, который определяет шесть уровней автоматизации вождения: от нулевого уровня, который характеризуется отсутствием автоматизации, до полной автономности транспортного средства [6]. Несомненным является вывод, что анализировать механизм ДТП с участием беспилотных транспортных средств, принадлежащих международным перевозчикам, лучше всего с помощью БПЛА и программного комплекса, обеспечивающих достоверность и объективность процесса и отвечающих уровню Четвертой индустриальной революции (Industry 4.0). В связи с этим, авторами [7] описаны современные способы фиксации места ДТП, способствующие упрощению работы эксперта-автотехника или сотрудника полиции. Подчеркивается, что основой анализа дорожно-

транспортного происшествия является установление механизма столкновения, наезда или опрокидывания, что невозможно без точной и однозначной фиксации вещной обстановки места происшествия.

Автором [8] подчеркивается, что стремительное развитие науки, техники и технологий потребует от следственных органов и судов оперативного решения различных специфических задач научного и технического плана, которые в перспективе сформируют объекты и предметы новых видов судебных экспертиз, прежде всего информационно-технологического профиля. Прогнозируется прорыв в разработке когнитивных вычислительных и экспертных систем, интегрированных с искусственным интеллектом [8]. Также, в работе [9] подчеркивается необходимость развития инноваций при осуществлении деятельности судебно-экспертных учреждений, что заключается, в том числе в дальнейшей разработке научно-обоснованных экспертных методик исследования вещественных доказательств.

Более того, авторами [10] прямо указывается, на расширение доказательственной базы путем изучения в ходе судопроизводства совокупности получаемой компьютерной информации. Показано, что границы специальных знаний в обязательном порядке должны охватывать грамотное понимание современных информационных технологий, функционала и динамики развития, а также возможность их эффективного использования [10].

На базе этого положения, Россинская Е.Р. [11] предлагает теорию цифровизации судебно-экспертной деятельности, которая, естественно, должна опираться на первичные цифровые материалы.

На основе современных технологий и в рамках концепции цифровизации судебно-экспертной деятельности в работе [12] был приведен пример использования для целей транспортно-трассологической экспертизы программного комплекса Agisoft Metashape и БПЛА.

На основании вышеизложенного, были сформулированы цель и задачи исследования.

Целью работы является обоснование наиболее рационального маршрута полета БПЛА в целях создания цифровой модели участка дорожно-транспортного происшествия.

В статье поставлены следующие задачи:

- проанализировать международный опыт использования БПЛА в целях обеспечения безопасности дорожного движения и фиксации обстановки места происшествия;
- провести апробацию полуавтоматического метода исследования объектов улично-дорожной сети и мест дорожно-транспортных происшествий с использованием БПЛА и программного комплекса Agisoft Metashape;
- пошагово описать алгоритм использования БПЛА для создания цифровой модели участка ДТП;
- на примере конкретных ДТП показать оптимальный маршрут полета БПЛА.

Материал и методы

Исследования проводились в Центре опережающего развития «Veritas» Восточно-Казахстанского технического университета им. Д. Серикбаева. Для создания цифровой модели (облака точек) используется программное обеспечение Agisoft Metashape установленное на ноутбук (Core I7 8-9 поколения, DDR4 16 Гб 2400 МГц, видеокарта не ниже GeForce GTX 1050, SSD 1 Тб) или стационарный компьютер, БПЛА с возможностью проведения фотосъемки и пространственной привязки фотоснимков с помощью спутников глобального позиционирования такие как DJI Mavic 2 Pro.

Параллельно использовался GNSS приемник Spectra Geospatial SP60 с технологией Z-Blade GNSS centric, обеспечивающей повышение надежности получаемых результатов.

Теория

Известны различные инновационные методы проведения осмотра места ДТП, такие как фотограмметрические методы, наземное лазерное сканирование, воздушное лазерное сканирование, применение БПЛА.

Необходимо отметить, что автором [13] указано, что такой метод фиксации вещной обстановки на месте происшествия как наземное лазерное сканирование не может являться

100% объективным. Проблема состоит в том, что сканер, как и любое техническое средство, может использоваться не корректно, а вещная обстановка для повторного сканирования уже может и не сохраниться [13]. В связи с этим специалист при осмотре места ДТП не может отказаться от производства и создания классических фототаблиц [13]. Более того, методом лазерного 3D-сканирования невозможно должным образом зафиксировать объекты, не имеющие объема или малое его значение, такие как следы растекания жидкостей транспортных средств, россыпь частиц лакокрасочного покрытия, фар, следы торможения или бокового скольжения колес автомобиля. Сюда же можно отнести невозможность сканирования окон и других гладких поверхностей, поскольку в этом случае лазерный пучок отражается, и, попадая обратно в приемник, не дает необходимой информации [14]. Поскольку автомобили обладают остеклением, а их поверхность, как правило, гладкая и блестящая, то цифровая модель транспортного средства будет иметь искажения или даже полное отсутствие ряда фрагментов.

Автор [15] приходит к выводу, что воздушное лазерное сканирование (ВЛС) имеет определенные преимущества, в частности в лесу при ВЛС можно увидеть поверхность, а также несопоставимую производительность, например, за день можно отснять с БПЛА территорию не более 30-50 км, в то время как с использованием ВЛС – до 500 км. Необходимо подчеркнуть, что столкновения автомобилей и наезды на пешеходов не происходят под кронами деревьев, а площадь ДТП ограничивается несколькими десятками квадратных метров, поэтому все преимущества ВЛС нивелируются.

В работе [16] подчеркивается, что в последнее время БПЛА стали повсеместной и неотъемлемой частью нашего общества и применяются в различных сферах деятельности, что свидетельствует о ряде их преимуществ.

Авторами [17] исследуется реконструкция 3D-модели места дорожно-транспортного происшествия с использованием БПЛА и указываются следующие преимущества его использования:

- возможность выполнения крупномасштабной съемки небольших участков местности при более низкой высоте полета воздушного судна;
- использование более дешевых камер;
- использование недорогих БПЛА, для которых нет необходимости использования специальных аэродромов для взлета и посадки;
- проведение такой съемки не требует от оператора специальных навыков пилотирования и длительного обучения.

Разработчиками ОДМ 218.9.017-2019 «Методические рекомендации по производству аэрофототопографических работ с использованием беспилотных летательных аппаратов при изысканиях в целях строительства и реконструкции автомобильных дорог» рекомендуется использовать челночную схему маршрута полета дрона. На рисунке 1 приведен фактический пример использования полуавтоматического метода сбора информации об объекте улично-дорожной сети с выполнением съемки по челночному маршруту.



Рисунок 1 - Выполнение съемки объекта улично-дорожной сети по челночному маршруту

Необходимо отметить, что цифровая модель, составленная по результатам съемки с использованием челночного маршрута, хорошо подходит для 2D моделирования и обеспечивает достаточную точность измерений [18].

В свою очередь, в работе [17] приводится пять схем маршрутов полета: полигон, сетка, двойная сетка, круговой и свободный полет. Необходимо отметить, что такие маршруты как полигон, сетка, двойная сетка по существу являются модификациями челночной схемы.

В ряде работ предлагаются различные рекомендации по выбору маршрута полета БПЛА. В частности, авторами [19] предлагается облет участка ДТП на высоте 10-15 м в автоматическом режиме.

Результаты и обсуждение

Необходимо отметить, что авторами данной работы согласно письму №1-5-5-66/1-8179 от 14.05.2021 г. первого заместителя МВД РК М. Кожаева проводилась апробация использования БПЛА в целях фиксации вещной обстановки ДТП в Восточно-Казахстанской области. При этом было установлено, что полет в автоматическом режиме на высоте 10-15 м. над участком ДТП практически невозможен, поскольку большое количество мелких препятствий (ветки деревьев на обочине дороги или прилегающей территории, опоры освещения с проводами и т.п.) не распознаются автоматической системой определения препятствий, поэтому большинство полетов производится в ручном режиме. Пример такой съемки приведен на рисунке 2.



Рисунок 2 - Дорожно-транспортное происшествие вблизи пятиэтажного дома: а-пятиэтажный дом, кабели, идущие на крышу здания, деревья рядом с домом; б-цифровая модель участка ДТП

В работе [20] показано, что для построения цифровой модели дорожно- транспортного происшествия могут использоваться такие программные комплексы, как Pix4Dmapper (Pix4D SA, Лозанна, Швейцария), Agisoft Metashape (Санкт-Петербург, Россия) и ArcGIS Pro (Esri, Калифорния, США). При проведении исследования авторами [20] был выбран комплекс Pix4Dmapper, а также маршруты полета двойная сетка и двойная решетка (полигон) и получены результаты измерений с погрешностью от 1,03 % до 20 %.

С другой стороны, в работе [17] анализировались три различных схемы полета: круговой метод, метод двойной сетки и метод одиночной сетки. Авторы [17] наглядно продемонстрировали, что лучшую точность обеспечивает круговой метод. Это связано с тем, что он имеет наименьшее значение RMSE (средняя ошибка прогнозирования), составляющее 0,047 м., по сравнению с другими методами, при этом метод двойной сетки имеет RMSE не менее 0,062 м., а метод одной сетки имеет RMSE не менее 0,069 м. [17].

Следует отметить, что авторы [17] указывая, что лучшая высота полета 5 м. от земли, не анализируют такие обстоятельства, как высота транспортного средства, которая может достигать 4 м. согласно правилам дорожного движения, а также наличие деревьев на прилегающей территории, проводов над проезжей частью дороги и т.п. (рис. 2).

В свою очередь, в работе [21] описывается построение цифровой модели участка дороги с использованием БПЛА, не поддерживающих RTK, но с обработкой результатов в программном комплексе Agisoft Metashape. Авторы [21] показали, что систематические деформации модели имели место, если испытательный полигон фотографировался исключительно с надиального положения камеры. Однако если к изображениям надира добавить фотографии, сделанные по круговой траектории над участком полигона с камерой, направленной в центр круга, то результирующая 2D-ортомозаика и 3D-облако точек точно соответствуют реальной

местности [21]. Также в работе [18] показано, что с использованием режима RTK можно достичь точности измерений от 5 до 7 мм.

Авторы данной работы на основе построения цифровых моделей реальных дорожно-транспортных происшествий рекомендуют съемку в два последовательных этапа (рис. 3). На первом этапе производится съемка по челночной схеме, захватывая границы участка ДТП, а на втором- по круговой траектории над расположением транспортных средств и других объектов, представляющих интерес (рис. 3).

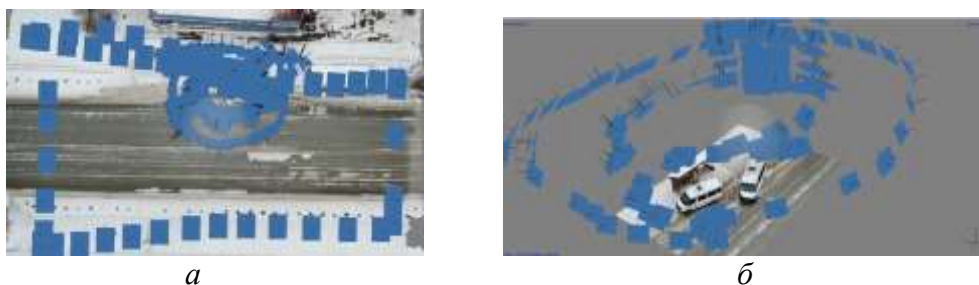


Рисунок 3 - Оптимальный маршрут полета при выполнении цифровой модели участка ДТП:
а - вид сверху; б - положение транспортных средств

При этом даже без использования режима RTK обеспечивается приемлемая точность измерений. Применение же режима RTK повышает точность измерений от 5 до 7 мм.

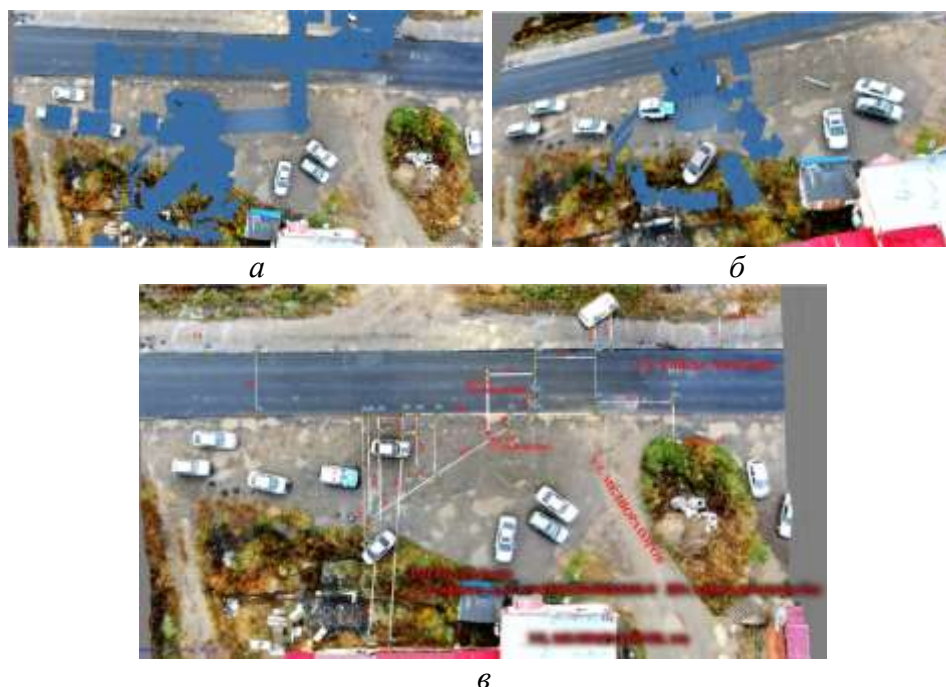


Рисунок 4-Комбинированный маршрут полета, включающий два круговых участка:
а - общий вид маршрута полета; б - участок кругового полета; в - цифровая модель ДТП

В случае, когда в результате ДТП транспортные средства оказываются далеко друг от друга, или на проезжей части дороги имеются какие-либо следы, имеющие отношение к данному ДТП, рекомендуется комбинированный маршрут полета, состоящий из челночного и нескольких круговых, соответствующих числу осматриваемых объектов.

Например, на рисунке 4 показан маршрут полета, состоящий из челночного и двух круговых, причем каждый из круговых соответствует транспортному средству - участнику ДТП. Порядок применения БПЛА изложен в ряде работ, в том числе и [18]. В рамках апробации использования БПЛА в целях фиксации вещной обстановки ДТП в Восточно-Казахстанской области был установлен оптимальный алгоритм использования дронов. На

первом этапе визуально определяются границы участка фотосъемки, точка взлёта и посадки. На втором этапе создается планово-высотное обоснование, в том числе включающее расположение дополнительных опознаков на участках, не имеющих четких границ (заснеженные участки и т.п.). На третьем этапе производится сборка БПЛА и подготовка его к полету. На четвертом этапе осуществляется построение полетного задания. Например, выполнение полета по челночной части маршрута выполняется в автоматическом режиме, а полет по круговому маршруту – в ручном. Также задается или регулируется степень наложения кадров, скорость полета дрона, параметры камеры и т.д. На данном этапе возможна съемка короткого обзорного видео в целях наглядного представления вещной обстановки места происшествия. На заключительном этапе осуществляется обработка результатов съемки в программном комплексе Agisoft Metashape

Опыт практической работы показывает, что, несмотря на наличие нескольких этапов съемки места дорожно-транспортного происшествия, общее время фиксации не превышает 5-7 минут.

Выводы

На основе анализа международного опыта использования БПЛА в целях обеспечения безопасности дорожного движения и фиксации обстановки места происшествия, а также экспериментальных данных:

- успешно проведена апробация полуавтоматического метода исследования объектов улично-дорожной сети и участков ДТП с использованием беспилотного летательного аппарата и программного комплекса Agisoft Metashape;
- поэтапно описан алгоритм использования БПЛА для создания цифровой модели участка ДТП;
- на примерах конкретных ДТП приведены оптимальные варианты маршрутов полета БПЛА.

Приведенные материалы могут быть использованы экспертами (специалистами) в качестве наглядного пособия при составлении цифровой модели участка ДТП в целях установления обстоятельств дорожно-транспортного происшествия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Alenezi E.Z., AlQahtani A.M., Althunayan S.F. et al. Prevalence and Determinants of Road Traffic Accidents in Saudi Arabia: A Systematic Review // Cureus. 2023. №15(12). doi:10.7759/cureus.51205.
2. Zhang X., Lu Y., Huang X., Zhou A. Research on the Effective Reduction of Accidents on Operating Vehicles with fsQCA Method-Case Studies [Электронный ресурс] / Applied Sciences. 2022. №12(24). URL: <https://doi.org/10.3390/app122412737>.
3. Беляев М.В. К вопросу о методических положениях транспортно-трассологической экспертизы // Вестник Московского университета МВД России. 2019. №1. С. 9-12.
4. Добромиров В.Н., Евтюков С.С., Голов Е.В. Современные технологии первичного осмотра места дорожно-транспортного происшествия // Вестник гражданских инженеров. 2017. Т. 61. №2. С. 232-239.
5. Загородний Н.А., Головкин М.В. Исследование методов использования беспилотных летательных аппаратов в сфере мониторинга дорожного движения // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №2(85). С. 107-114. doi: 10.33979/2073-7432-2024-2-2(85)-107-114.
6. Tang Yuexia, Zakaria Muhammad, Younas Maryam. Path Planning Trends for Autonomous Mobile Robot Navigation: A Review. Sensors. 2025. №25. P. 1206.
7. Евтюков С.А., Куракина Е.В., Лукашов Б.В. Экспертиза ДТП с использованием БПЛА, комплексов выявления инцидентов и систем лазерного сканирования // Грузовик. 2024. №1. С. 30-33.
8. Кокин А.В. Судебная экспертиза в эпоху четвертой индустриальной революции (Индустрии 4.0) // Теория и практика судебной экспертизы. 2021. №16(2). С. 29-36.
9. Денисов Ю.Д., Лапина И.А., Омелянюк Г.Г., Хазиев Ш.Н. Традиционные подходы и инновации в судебно-экспертной деятельности // Теория и практика судебной экспертизы. 2023. Т. 18. №2. С. 78-88.
10. Усов А.И., Омелянюк Г.Г., Лапина И.А., Карпухина Е.С., Кузнецов В.О. Роль цифровой трансформации в развитии судебной экспертизы // Теория и практика судебной экспертизы. 2024. Т. 19. №3. С. 47-57.
11. Россинская Е.Р. Система теории цифровизации судебно-экспертной деятельности // Теория и практика судебной экспертизы. 2024. Т. 19. №3. С. 20-32.
12. Недобитков А.И. Цифровая транспортная трассология на основе Agisoft Metashape и беспилотного летательного аппарата // Вестник СибАДИ. 2022. №19(6). С. 890-899.
13. Думнов С.Н. К вопросу применения лазерного 3D сканирования при производстве судебной авто-технической экспертизы // Вестник Восточно-сибирского института МВД. 2019. №3(90). С. 133-145.

14. Mihic M., Sigmund Z., Završki I., Butkovic L.L. An Analysis of Potential Uses, Limitations and Barriers to Implementation of 3D Scan Data for Construction Management-Related Use-Are the Industry and the Technical Solutions Mature Enough for Adoption? *Buildings*. 2023. №13(5). P. 1184.

15. Рыльский И.А., Парамонов Д.А., Груздев Р.В. Аспекты информационного наполнения инфраструктур пространственных данных на основе лазерного сканирования // *Вестник науки и образования*. 2024. Т. 150. №7. С. 1-8.

16. Mohsan S.A.H., Othman N.Q.H., Li Y. et al. Unmanned aerial vehicles (UAVs): practical aspects, applications, open challenges, security issues, and future trends // *Intel Serv Robotics*. 2023. №16. P. 109-137.

17. Norahim Mohamad, Tahar Khairul, Maharjan Gyanu, Matos Jose. Reconstructing 3D model of accident scene using drone image processing // *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*. 2023. №13. P. 4087.

18. Хлебникова Т.А., Горилько А.С., Астапов А.М. Разработка методики создания цифровых инженерно-топографических планов с использованием материалов съемки беспилотной авиационной системы на малых высотах // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2021. Т. 8. С. 57-64. DOI 10.33764/2618-981X-2021-1-57-64.

19. Saveliyev A., Lebedeva V., Lebedev I., Uzdiaev M. An Approach to the Automatic Construction of a Road Accident Scheme Using UAV and Deep Learning Methods // *Sensors (Basel, Switzerland)*. 2022. №22.

20. Almeshal Abdullah, Alenezi Mohammad, Alshatti Abdullah. Accuracy Assessment of Small Unmanned Aerial Vehicle for Traffic Accident Photogrammetry in the Extreme Operating Conditions of Kuwait // *Information (Switzerland)*. 2020. №11.

21. Vida G., Meleghe G., Süveges Á., Wenzsky N., Török A. Analysis of UAV Flight Patterns for Road Accident Site Investigation // *Vehicles*. 2023. №5. P. 1707-1726.

Недобитков Александр Игнатьевич

Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева
Адрес: 070004, Казахстан, г. Усть-Каменогорск, ул. Серикбаева, 19
К.т.н., старший научный сотрудник
E-mail: a.nedobitkov@mail.ru

Охотенко Андрей Иванович

Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева
Адрес: 070004, Казахстан, г. Усть-Каменогорск, ул. Серикбаева, 19
Техник Центра компетенций и трансфера технологий в области геологии и горного дела
E-mail: aohotenko@mail.ru

Шаяхметова Жулдыз Алихановна

Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева
Адрес: 070004, Казахстан, г. Усть-Каменогорск, ул. Серикбаева, 19
Докторант
E-mail: zshayakhmetova@edu.ektu.kz

Недобитков Юрий Александрович

Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева
Адрес: 070004, Казахстан, г. Усть-Каменогорск, ул. Серикбаева, 19
Студент
E-mail: anedobitkov@ektu.kz

A.I. NEDOBITKOV, A.I. OKHOTENKO, ZH.A. SHAYAKHMETOVA, YU.A. NEDOBITKOV

RATIONALIZATION OF THE BEST UAV FLIGHT ROUTE WHEN CREATING A DIGITAL MODEL OF A SCENE OF A TRAFFIC ACCIDENT

Abstract. Using the example of specific traffic accidents, we presented the results of use of an unmanned aerial vehicle and Agisoft Metashape software. By an experimental method we have determined the best flight route of an unmanned aerial vehicle for purposes of creation of the digital model of the traffic accident scene. Usage of the proposed flight route makes it possible to assure 0-5 cm. measurement value, which is significantly lower than the usual error limit specific for conventional documentation of the results. The proposed UAV flight route could be used in the practical activity of specialists involved in investigation of the traffic accident mechanism; specifically, it could be used for creation of a digital model of a traffic accident scene.

Keywords: drone, flight route, digital model, traffic accident

BIBLIOGRAPHY

1. Alenezi E.Z., AlQahtani A.M., Althunayan S.F. et al. Prevalence and Determinants of Road Traffic Accidents in Saudi Arabia: A Systematic Review // *Cureus*. 2023. №15(12). doi:10.7759/cureus.51205.

2. Zhang X., Lu Y., Huang X., Zhou A. Research on the Effective Reduction of Accidents on Operating Vehicles with fsQCA Method-Case Studies [Elektronnyy resurs] / *Applied Sciences*. 2022. №12(24). URL:

<https://doi.org/10.3390/app122412737>.

3. Belyaev M.V. K voprosu o metodicheskikh polozheniyakh transportno-trasologicheskoy ekspertizy // Vestnik Moskovskogo universiteta MVD Rossii. 2019. №1. S. 9-12.
4. Dobromirov V.N., Evtyukov S.S., Golov E.V. Sovremennye tekhnologii pervichnogo osmotra mesta do-rozhno-transportnogo proisshestviya // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2017. T. 61. №2. S. 232-239.
5. Zagorodniy N.A., Golovkin M.V. Issledovanie metodov ispol'zovaniya bespilotnykh letatel'nykh apparatov v sfere monitoringa dorozhnogo dvizheniya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2024. №2(85). S. 107-114. doi: 10.33979/2073-7432-2024-2-2(85)-107-114.
6. Tang Yuexia, Zakaria Muhammad, Younas Maryam. Path Planning Trends for Autonomous Mobile Robot Navigation: A Review. Sensors. 2025. №25. R. 1206.
7. Evtyukov S.A., Kurakina E.V., Lukashov B.V. Ekspertiza DTP s ispol'zovaniem BPLA, kompleksov vyavleniya intsidentov i sistem lazernogo skanirovaniya // Gruzovik. 2024. №1. S. 30-33.
8. Kokin A.V. Sudebnaya ekspertiza v epokhu chetvertoy industrial'noy revolyutsii (Industrii 4.0) // Teoriya i praktika sudebnoy ekspertizy. 2021. №16(2). S. 29-36.
9. Denisov YU.D., Lapina I.A., Omel'yanyuk G.G., Haziev SH.N. Traditsionnye podkhody i innovatsii v su-debno-ekspertnoy deyatel'nosti // Teoriya i praktika sudebnoy ekspertizy. 2023. T. 18. №2. S. 78-88.
10. Usov A.I., Omel'yanyuk G.G., Lapina I.A., Karpukhina E.S., Kuznetsov V.O. Rol' tsifrovoy transformatsii v razviti sudebnoy ekspertologii // Teoriya i praktika sudebnoy ekspertizy. 2024. T. 19. №3. S. 47-57.
11. Rossinskaya E.R. Sistema teorii tsifrovizatsii sudebno-ekspertnoy deyatel'nosti // Teoriya i praktika sudebnoy ekspertizy. 2024. T. 19. №3. S. 20-32.
12. Nedobitkov A.I. Tsifrovaya transportnaya trasologiya na osnove Agisoft Metashape i bespilotnogo le-tatel'nogo apparata // Vestnik SibADI. 2022. №19(6). S. 890-899.
13. Dumnov S.N. K voprosu primeneniya lazernogo 3D skanirovaniya pri proizvodstve sudebnoy avto-tekhnicheskoy ekspertizy // Vestnik Vostochno-sibirskogo instituta MVD. 2019. №3(90). S. 133-145.
14. Mihis M., Sigmund Z., Zavrki I., Butkovis L.L. An Analysis of Potential Uses, Limitations and Barriers to Implementation of 3D Scan Data for Construction Management-Related Use-Are the Industry and the Technical Solu-tions Mature Enough for Adoption Buildings. 2023. №13(5). R. 1184.
15. Ryl'skiy I.A., Paramonov D.A., Gruzdev R.V. Aspekty informatsionnogo napolneniya infrastruktur pros-transtvennykh dannyykh na osnove lazernogo skanirovaniya // Vestnik nauki i obrazovaniya. 2024. T.150. №7. S. 1-8.
16. Mohsan S.A.H., Othman N.Q.H., Li Y. et al. Unmanned aerial vehicles (UAVs): practical aspects, applica-tions, open challenges, security issues, and future trends // Intel Serv Robotics. 2023. №16. R. 109-137.
17. Norahim Mohamad, Tahar Khairul, Maharjan Gyanu, Matos Jose. Reconstructing 3D model of accident scene using drone image processing // International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). 2023. №13. R.4087.
18. Hlebnikova T.A., Goril'ko A.S., Astapov A.M. Razrabotka metodiki sozdaniya tsifrovyykh inzhener-no-topograficheskikh planov s ispol'zovaniem materialov s'emki bespilotnoy aviatsionnoy sistemy na malykh vysotakh // Interesko Geo-Sibir'. 2021. T. 8. S. 57-64. DOI 10.33764/2618-981X-2021-1-57-64.
19. Saveliev A., Lebedeva V., Lebedev I., Uzdiaev M. An Approach to the Automatic Construction of a Road Accident Scheme Using UAV and Deep Learning Methods // Sensors (Basel, Switzerland). 2022. №22.
20. Almeshal Abdullah, Alenezi Mohammad, Alshatti Abdullah. Accuracy Assessment of Small Unmanned Aerial Vehicle for Traffic Accident Photogrammetry in the Extreme Operating Conditions of Kuwait // Information (Switzerland). 2020. №11.
21. Vida G., Melegh G., Soveges., Wenszky N., Torok A. Analysis of UAV Flight Patterns for Road Accident Site Investigation // Vehicles. 2023. №5. R. 1707-1726.

Nedobitkov Alexander Ignatievich

East Kazakhstan Technical University

Address: 070004, Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk, Serikbaeva Str., 19

Candidate of technical science, Senior Research

E-mail: a.nedobitkov@mail.ru

Okhotenko Andrey Ivanovich

East Kazakhstan Technical University

Address: 070004, Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk, Serikbaeva Str., 19

Technician of the Center of Competence and Technology Transfer in Geology and Mining

E-mail: aohotenko@mail.ru

Shayakhmetova Zhuldyz Alikhanovna

East Kazakhstan Technical University

Address: 070004, Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk, Serikbaeva Str., 19

Doctoral student

E-mail: zshayakhmetova@edu.ektu.kz

Nedobitkov Yuri Alexandrovich

East Kazakhstan Technical University

Address: 070004, Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk, Serikbaeva Str., 19

Student

E-mail: anedobitkov@ektu.kz

Научная статья

УДК 656.01:164.01

doi: 10.33979/2073-7432-2025-4(91)-120-129

Е.В. МИРОШНИКОВ

О СОСТОЯНИИ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА СТРАНЫ

Аннотация. Исследование посвящено анализу логистической эффективности России на основе данных Индекса логистической производительности (LPI) за период с 2007 по 2023 год. Цель работы - оценить динамику изменения ключевых параметров логистической производительности, выявить наиболее проблемные и успешные направления, а также определить факторы, влияющие на конкурентоспособность страны в сфере международной торговли. Полученные данные могут быть использованы для разработки стратегии развития логистического потенциала России и повышения её роли в глобальных цепочках поставок.

Ключевые слова: транспортно-логистический комплекс, Российская Федерация, индекс эффективности логистики, эффективность таможенного оформления, качество инфраструктуры, доступность международных перевозок, компетентность логистических компаний, возможность отслеживания грузов и пунктуальность доставки

Введение

Одной из основных долгосрочных целей развития транспортной системы Российской Федерации является увеличение объема и скорости транзита грузов и развитие мультимодальных логистических технологий [1] что в совокупности представляет собой одно из направлений социально-экономического роста. Следует отметить, что интенсивное развитие транспортной системы затормаживается рядом факторов, которые довольно подробно описаны в Транспортной стратегии [12]:

1) недостаточное развитие мультимодальных перевозок и несбалансированность структуры перевозок по видам транспорта (в 1,5-3 раза ниже уровень развития мультимодальных перевозок в сравнении с мировыми практиками);

2) отношение логистических издержек к валовому внутреннему продукту (ВВП) в России составляет 14,2 % (среднемировые значения - 11 %);

3) более 30 % составляет доля перевозок несырьевых грузов автомобильным видом транспорта на расстояние свыше 1000 километров, при оптимальном расстоянии 500-700 км, что свидетельствует о высокой доле перевозок на дальние расстояния [2].

Относительно транспортных издержек, следует отметить, что в Транспортной стратегии (далее - Стратегии) показатели приведены для 2019 года, по результату которого ВВП составил 109 361,5 млрд. руб., таким образом логистические издержки составили 15 529,3 млрд. руб., что характеризует довольно высокие затраты в транспортно-логистическом комплексе, связанных с рядом сдерживающих факторов.

Материал и методы

Для оценки сдерживающих факторов развития транспортной системы в области грузовых перевозок и определения лучших мировых практик, крайне важным мероприятием является оценка ситуации в транспортном секторе в общей геополитической и мировой системе. В этом случае, необходимо оценить показатели различных стран, опираясь на официальные мировые источники, например данные Всемирного банка в отчетах по логистике [3]. Начиная с 2007 года организация Всемирного банка проводит исследования в области глобальных цепочек поставок, оцениваемые универсальным показателем – индексом эффективности логистики (Logistics Performance Index - LPI). В отчетах, помимо общего показателя – LPI, содержатся данные по шести параметрам, позволяющим комплексно оценить рассматриваемый индекс – эффективность таможенного оформления и управления границей; качество инфраструктуры; связанной с торговлей и транспортом; легкость организации междуна-

родных перевозок; компетентность и качество логистических услуг; возможность отслеживания грузов; пунктуальность доставки [4]. Рассматривая более подробно последний отчет, датированный 2023 годом, следует отметить, что он содержит информацию по основному показателю оценки эффективности транспортно-логистического комплекса в целом [5]. Помимо того, что в мировой практике эффективность определяется комплексным показателем – индекс логистической эффективности (Logistics Performance Index - LPI) [6]. Индекс логистической эффективности предназначен для оценки и сравнения логистической эффективности мировых стран, в связи с тем, что перевозки и логистика это одно из направлений развития любого без исключения государства [7]. Основные задачи индекса (LPI) заключаются в:

- анализе качества инфраструктуры, таможенных процедур и логистических услуг;
- идентификации слабых мест в цепочках поставок;
- содействию улучшению условий для международной торговли.

Согласно отчету 2023 года, в общем списке из 139 стран, оцененных в общей системе по LPI занимает 95 место, что подтверждает наличие тормозящих факторов, тормозящих развитие транспортно-логистической системы в целом [11]. Помимо общего показателя – LPI, в отчете содержатся данные по шести параметрам, позволяющим комплексно оценить рассматриваемый индекс – таможенный балл, оценка инфраструктуры, оценка международных отношений, оценка компетентности и качества в области логистики, оценка по временным интервалам и оценке отслеживания и прослеживаемости (табл. 1).

Таблица 1 – Рейтинг стран по LPI 2023 год [7]

№ п/п	Экономика (страна)	Оценка LPI	Эффективность таможенного оформления и управления границей	Качество инфраструктуры, связанной с торговлей и транспортом	Легкость организации международных перевозок	Компетентность и качество логистических услуг	Возможность отслеживания грузов	Пунктуальность доставки
1	Сингапур	4,3	4,2	4,6	4,0	4,4	4,3	4,4
2	Финляндия	4,2	4,0	4,2	4,1	4,2	4,3	4,2
3	Дания	4,1	4,1	4,1	3,6	4,1	4,1	4,3
4	Германия	4,1	3,9	4,3	3,7	4,2	4,1	4,2
5	Нидерланды	4,1	3,9	4,2	3,7	4,2	4,0	4,2
95	Российская Федерация	2,6	2,4	2,7	2,3	2,6	2,89	2,27
138	Афганистан	1,9	2,1	1,7	1,8	2,0	2,3	1,6
139	Ливия	1,9	1,9	1,7	2,0	1,9	2,2	1,8

Анализируя показатели Российской Федерации за предыдущие года, по рассматриваемому индексу (LPI) и входящих в его состав параметров, следует отметить, что наблюдается медленный рост в общем рейтинге (табл. 2).

Таблица 2 – Изменение положения Российской Федерации и индекса (LPI) с учетом входящих в его состав параметров за 2007, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018 и 2023 гг.

Год	Количество стран	Индекс эффективности логистики / место в общем списке стран	Эффективность таможенного оформления и управления границей / место в общем списке стран	Качество инфраструктуры, связанной с торговлей и транспортом / место в общем списке стран	Легкость организации международных перевозок / место в общем списке стран	Компетентность и качество логистических услуг / место в общем списке стран	Возможность отслеживания грузов / место в общем списке стран	Пунктуальность доставки / место в общем списке стран
2007	150	2,37 / 99	1,94 / 137	2,23 / 93	2,48 / 94	2,46 / 83	2,36 / 100	1,82 / 144
2010	155	2,61 / 94	2,15 / 115	2,38 / 83	2,72 / 96	2,51 / 88	2,36 / 100	2,1 / 120
2012	155	2,58 / 95	2,04 / 138	2,45 / 97	2,59 / 106	2,65 / 92	2,73 / 98	2,13 / 120
2014	160	2,69 / 90	2,20 / 133	2,59 / 77	2,64 / 102	2,74 / 80	2,82 / 98	2,21 / 120
2016	160	2,57 / 99	2,01 / 141	2,43 / 94	2,45 / 115	2,76 / 72	2,81 / 99	2,25 / 131
2018	160	2,76 / 75	2,42 / 97	2,78 / 61	2,64 / 96	2,75 / 71	2,85 / 99	2,24 / 122
2023	139	2,6 / 88	2,4 / 90	2,7 / 68	2,3 / 121	2,6 / 92	2,89 / 88	2,27 / 124

Для формирования более полного представления о тормозящих факторах необходимым мероприятием является анализ каждого параметра, оказывающего влияние на значение индекса эффективности логистики (LPI) с учетом хронологии их учета [9]. Изначально, рассматривая общий показатель – LPI (рис. 1), можно отметить, что в 2023 году происходит небольшое снижение, что связано в первую очередь с определённой геополитической ситуацией, но несмотря на это в общем списке Российская Федерация по данному показателю занимает 88 место (табл. 2) [10]. Следует также отметить, что с научной точки зрения данный показатель используется в последнее время довольно активно [8].

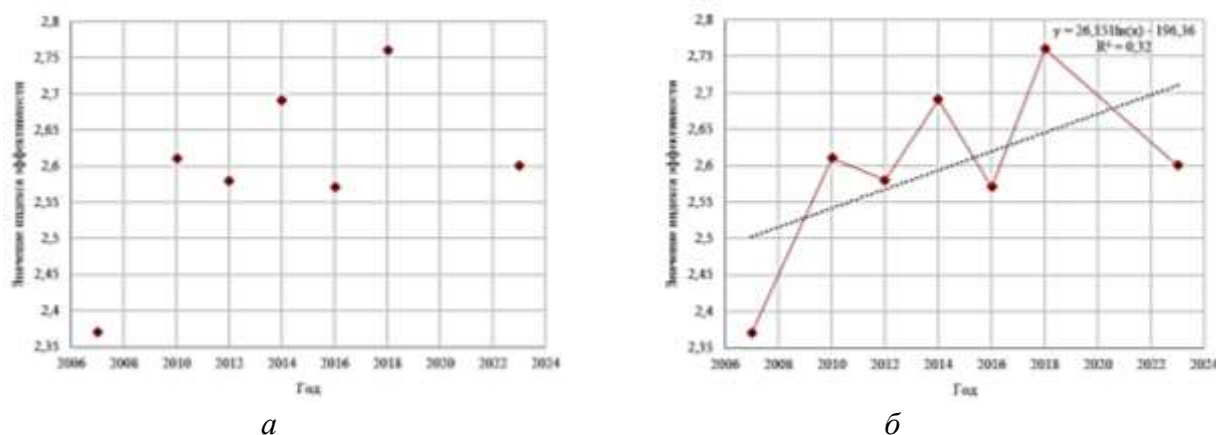


Рисунок 1 – Изменение индекса эффективности логистики для Российской Федерации по данным исследований Всемирного банка:
а - точечный график; б - линейный график с подобранной линией тренда

Теория / Расчёт

1. Эффективность таможенного оформления и управления границей [14]. Этот параметр отражает эффективность процедур таможенного оформления, включая время, затраты, простоту и надежность таможенных операций [13] (рис. 2).

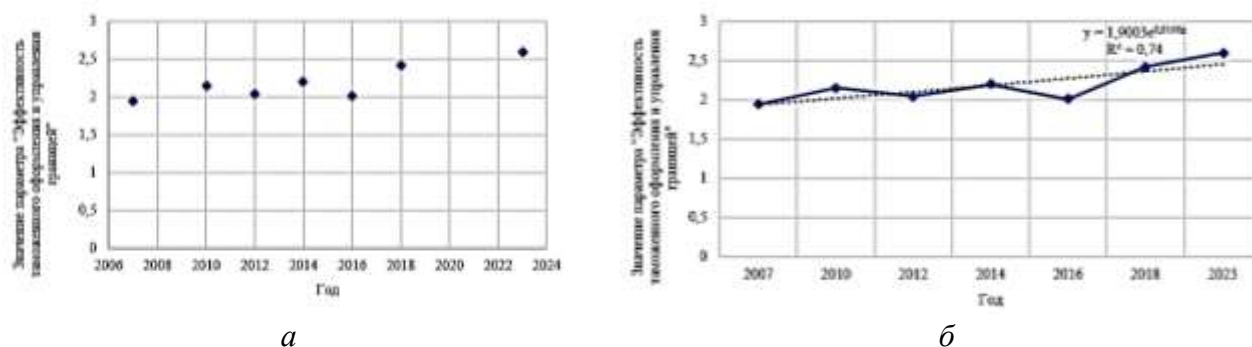


Рисунок 2 – Изменение параметра «эффективность таможенного оформления и управления границей» для Российской Федерации по данным исследований Всемирного банка:
а - точечный график, б - линейный график с подобранной линией тренда

В Стратегии, данный параметр характеризуется показателем импорта и экспорта, а именно показателями входящих и исходящих объемов грузоперевозок. В соответствии с направлениями развития транспортной отрасли определены основные типы грузов, предназначенные для перевозки (ввозу/выводу) из основных крупнейших городских агломераций, такие как: уголь, нефть, нефтепродукты, руды, черные металлы, стройматериалы, химические и минеральные удобрения, зерно, лес, целлюлозно-бумажная продукция, продукты питания и прочие. Также установлен уровень прироста объема грузовых перевозок в 2035 году в направлении крупнейших городских агломераций Российской Федерации (табл. 3).

Таблица 3 – Прирост объемов грузов к 2035 году в направлении крупнейших агломераций

№ п/п	Наименование городской агломерации	Прирост объемов грузоперевозок	
		входящих	исходящих
1	Владивостокская	60	5
2	Волгоградская	4	5
3	Воронежская	22	24
4	Екатеринбургская	22	36
5	Иркутская	33	24
6	Казанская и Камская	25	12
7	Краснодарская	53	19
8	Красноярская	25	29
9	Московская	91	35
10	Нижегородская	9	8
11	Новосибирская	12	23
12	Омская	8	6
13	Пермская	20	18
14	Ростовская	23	27
15	Самарско-Тольяттинская	9	8
16	Санкт-Петербургская	26	26
17	Тюменская	21	35
18	Уфимская	18	13
19	Челябинская	19	33
20	Итого	500	385

2. Качество инфраструктуры, связанной с торговлей и транспортом. Этот параметр отражает состояние и качество инфраструктуры, которая используется для международных перевозок. Он охватывает как физическую инфраструктуру (дороги, железные дороги, порты, аэропорты), так и цифровую или информационную инфраструктуру (например, системы управления грузами и автоматизации). По данному параметру наблюдается определенное улучшение, если в 2007 году из 150 рассмотренных стран, Российская Федерация занимала 93 место, то уже в 2023 году из 139 стран, уже 68 место. Несмотря на это, в сравнении с другими зарубежными странами качество инфраструктуры, в том числе и дорожной остается на низком уровне, что сдерживает развитие транспортно-дорожного комплекса (ТДК) в целом (рис. 3).

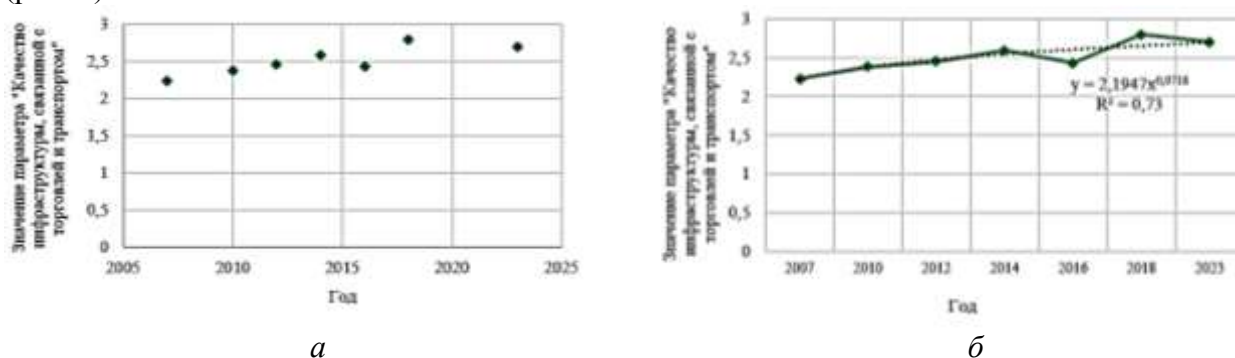


Рисунок 3 – Изменение параметра «качество инфраструктуры, связанной с торговлей и транспортом» для Российской Федерации по данным исследований Всемирного банка:
а - точечный график, б - линейный график с подобранной линией тренда

3. Легкость организации международных перевозок. Этот параметр отражает насколько просто и доступно организовать международные перевозки, как для экспорта, так и для импорта [15]. Он оценивает, насколько легко представители бизнеса могут заключить договоры с логистическими компаниями, получить услуги по доставке грузов за границу, обеспечить конкурентоспособную цену и надежность перевозок (рис. 4) [16].

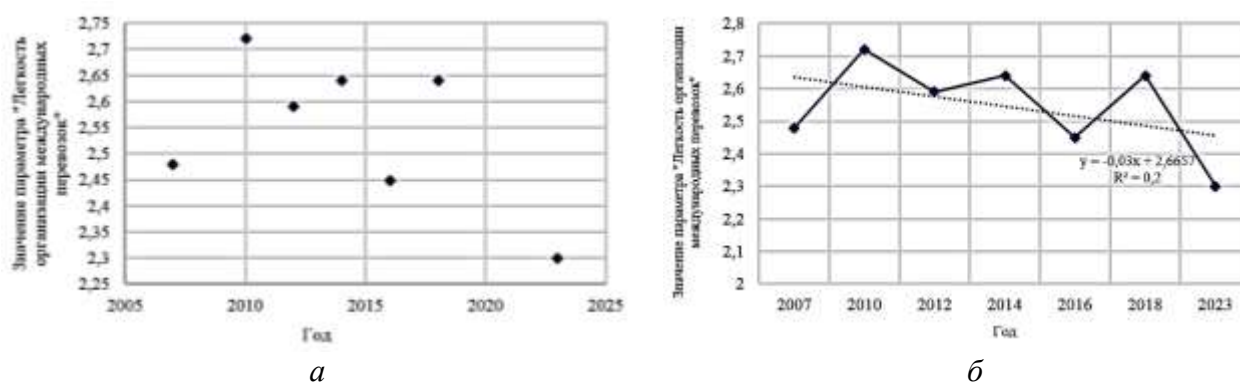


Рисунок 4 – Изменение параметра «легкость организации международных перевозок» для Российской Федерации по данным исследований Всемирного банка:
а - точечный график, б - линейный график с подобранной линией тренда

В сравнении с ранее рассмотренными параметрами, данный параметр имеет нисходящий характер изменения, что свидетельствует о снижении уровня организации международных перевозок в сравнении с ранее наблюдаемыми годами. В большей степени данное явление связано с отсутствием специализированных цифровых платформ и небольшим количеством перевозчиков, осуществляющих данный вид транспортной услуги. Параметр «Легкость организации международных перевозок» - это ключевой элемент логистической эффективности страны. Он отражает степень доступности и конкуренции в сфере международных перевозок, а также влияет на стоимость, скорость и надёжность доставки товаров.

4. Компетентность и качество логистических услуг. Этот параметр отражает уровень профессионализма, надёжности и качества услуг, предоставляемых компаниями, участвующими в международной логистике: экспедиторами, операторами складов, таможенными брокерами, транспортными агентствами и другими участниками цепочек поставок [17]. В большей степени он отражает квалификацию сотрудников, участвующих в логистической цепочке, для Российской Федерации данный показатель один из самых низких, что сохраняется на протяжении большого периода времени, начиная с 2007 года (рис. 5) [18].

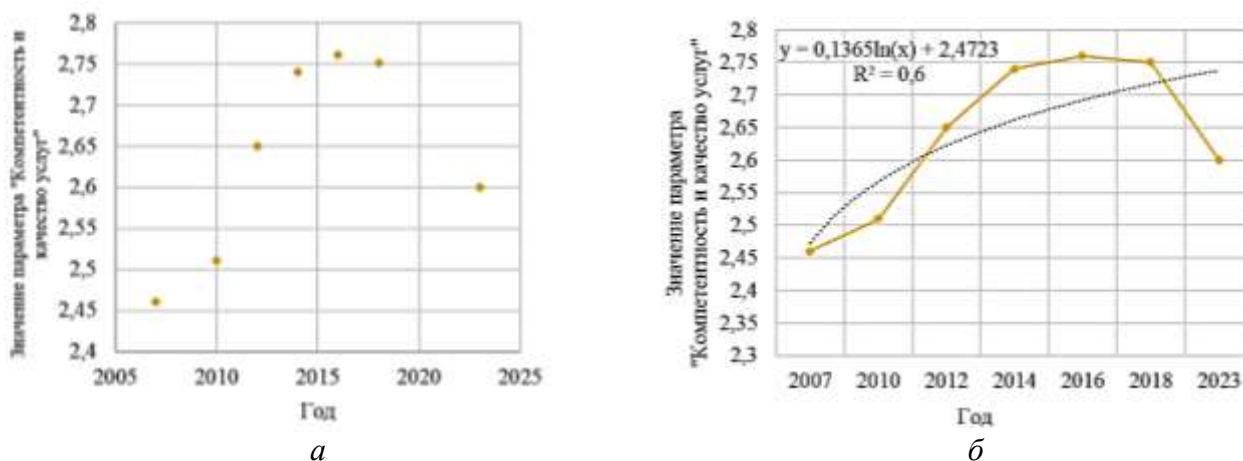


Рисунок 5 – Изменение параметра «Компетентность и качество логистических услуг» для Российской Федерации по данным исследований Всемирного банка [19]:
а - точечный график, б - линейный график с подобранной линией тренда

В целом, «Компетентность и качество логистических услуг» — это ключевой элемент, отражающий уровень подготовки специалистов, качество работы компаний и надёжность выполнения международных перевозок. Его улучшение положительно сказывается на пунктуальности, стоимости и надёжности доставки [20].

5. Возможность отслеживания грузов. Этот параметр отражает насколько легко и

надёжно можно отследить движение груза на всех этапах международной перевозки: от отправления до доставки. Российская Федерация демонстрирует умеренный уровень развития возможностей отслеживания грузов, однако остаётся позади стран, активно внедряющих цифровые технологии (рис. 6).

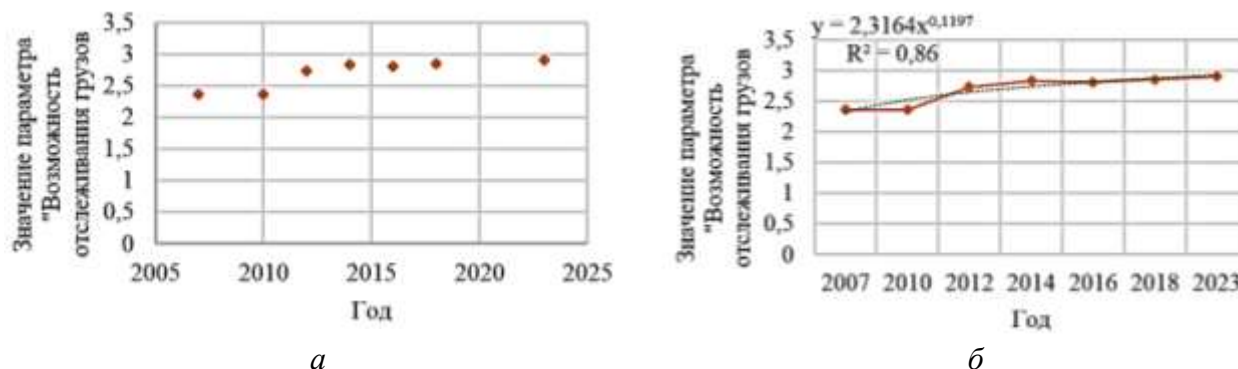


Рисунок 6 – Изменение параметра «Возможность отслеживания грузов» для Российской Федерации по данным исследований Всемирного банка:
а - точечный график, б - линейный график с подобранной линией тренда

Показатели рассматриваемого параметра для Российской Федерации, согласно данным исследования Всемирного банка можно характеризовать по годам следующим образом (табл. 4).

Таблица 4 – Значение параметра «Отслеживания грузов» для Российской Федерации по годам

Год	Значение	Краткое описание
2007	2,36	Низкий уровень цифровизации и прозрачности.
2010	2,36	Медленное развитие ИТ-систем в логистике.
2012	2,73	Появление первых цифровых платформ.
2014	2,82	Умеренный прогресс в автоматизации.
2016	2,81	Внедрение систем отслеживания в крупных компаниях.
2018	2,85	Внедрение систем отслеживания в крупных компаниях.
2023	2,89	Дальнейшее улучшение, но всё ещё ниже среднего уровня.

Как было сказано ранее, Российская Федерация демонстрирует медленное, но стабильное улучшение возможностей отслеживания грузов. Однако страна всё ещё остаётся ниже среднего уровня по сравнению с лидерами LPI и лидерами по данному параметру. Для повышения позиций необходимо развивать цифровую инфраструктуру, внедрять современные ИТ-решения и усиливать координацию между участниками логистической цепочки.

6. Пунктуальность доставки. Этот параметр отражает насколько регулярно и точно в срок грузы прибывают к получателю. Данный параметр является одним из элементов эффективности цепочек поставок. Установлено, что страны с высокими показателями пунктуальности более конкурентоспособны в международной торговле; привлекают больше инвестиций и участвуют в глобальных производственных сетях с использованием модели «точно в срок». За 16 лет Российская федерация повысила свой показатель всего на +0.45 балла, что свидетельствует о медленном, но стабильном улучшении (рис. 7).

В 2016 году Россия заняла 131 место, что стало некоторым спадом по сравнению с предыдущими годами, но оценка всё же немного повысилась (2,25), что может быть связано с модернизацией некоторых логистических коридоров и началом цифровизации процессов.

По данному показателю, Российская Федерация занимает одно из низких мест в рейтинге, что свидетельствует о необходимости принятия ряда мер, связанных с цифровизацией логистики (внедрение ERP-систем, GPS-мониторинг, автоматизация планирования маршрутов), модернизация транспортной инфраструктуры (ремонт дорог, развитие железнодорожных коридоров), автоматизация таможенных процедур (электронное декларирование, снижение времени проверок), обучение персонала (повышение квалификации водителей, диспет-

черов, экспедиторов, поддержка государства (создание условий для развития мультимодальных перевозок и цифровых платформ).

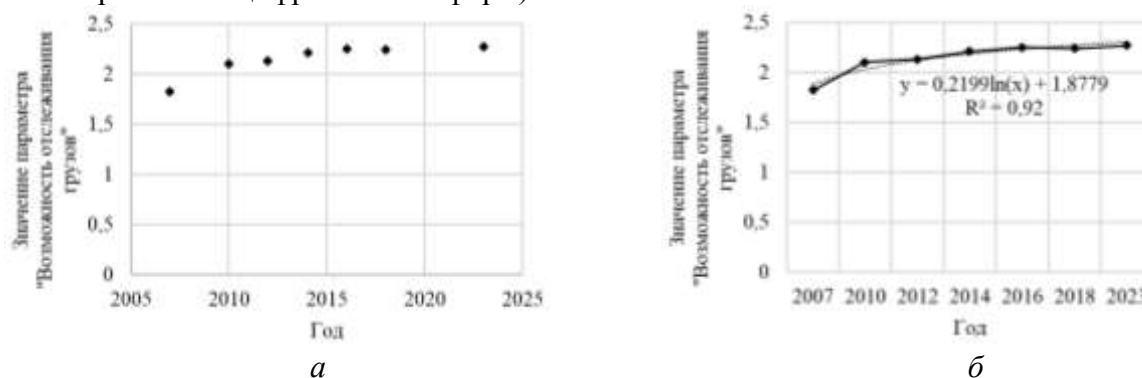


Рисунок 7 – Изменение параметра «Пунктуальность доставки» для Российской Федерации по данным исследований Всемирного банка:
 а - точечный график, б - линейный график с подобранной линией тренда

Результаты

Общим выводом по выполненному анализу является определение места Российской Федерации в общем рейтинге стран по индексу эффективности логистики (LPI). Россия в последние годы демонстрирует умеренное улучшение своих позиций по комплексному показателю Индекса логистической производительности (LPI), однако остаётся на уровне стран с ниже средней эффективностью логистических систем. В 2023 году общий LPI России составил 2.73, что позволило стране занять 102 место из 160 оцениваемых стран. Этот результат свидетельствует о небольшом прогрессе по сравнению с предыдущими годами: в 2018 году индекс был равен 2.67 при 99 месте, а в 2010 году - 2.48 при 97 месте. Таким образом, за 13 лет Россия повысила свой общий уровень логистической производительности всего на +0.25 балла, что указывает на медленные, но стабильные улучшения.

Обсуждение

Анализ отдельных параметров позволяет понять, какие направления требуют наибольшей модернизации, а где уже были достигнуты определённые успехи. Так, например, таможенная эффективность остаётся одной из наиболее проблемных зон, хотя и наблюдается положительная динамика: в 2023 году этот показатель достиг 2.59 (ранг 118), тогда как в 2007 году он был на уровне 1.94 (ранг 115). Это говорит о том, что за 16 лет удалось поднять оценку таможенного оформления почти на +0.65 баллов, что может быть связано с внедрением цифровых технологий, автоматизацией процедур и упрощением документооборота. Однако по-прежнему высокая степень бюрократии и административные барьеры ограничивают скорость и прозрачность этих процессов.

Вывод

Инфраструктура также остаётся слабым местом, несмотря на некоторое улучшение. В 2023 году показатель качества транспортной и торговой инфраструктуры составил 2,78 (ранг 97), что немного выше уровня 2007 года (2,23, ранг 93) и заметно ниже, чем у лидеров, таких как Германия или Сингапур, где оценки превышают 4,5-4,7 баллов. Хотя наблюдалось увеличение инвестиций в дороги, порты и железнодорожную сеть, особенно в рамках подготовки к международным проектам и логистическим коридорам, развитие инфраструктуры происходит неравномерно, с акцентом на крупные города и ключевые магистрали, оставляя удалённые регионы в менее развитом состоянии.

Показатель «Легкость организации международных перевозок» находится на уровне 2,86 (ранг 101) в 2023 году. По сравнению с 2007 годом (оценка 2,48, ранг 97) произошло улучшение, но темпы роста остаются невысокими. Российский рынок логистики характеризуется ограниченной конкуренцией среди экспедиторов и недостаточным количеством со-

временных IT-платформ для планирования и бронирования грузоперевозок. При этом государство постепенно усиливает свою роль в поддержке логистических хабов и цифровизации перевозок, что даёт основание надеяться на более заметные изменения в будущем.

Компетентность и качество логистических услуг в 2023 году получили оценку 2,94 (ранг 102), что является лучшим результатом среди всех компонентов LPI. По сравнению с 2007 годом (2,78, ранг 97) это улучшение на +0.16 баллов, что может быть связано с ростом профессионального уровня специалистов и внедрением новых стандартов в работе с грузами. Однако до уровня лидеров, таких как Южная Корея или Япония, где показатель превышает 4,3–4,5 баллов, России ещё далеко. Проблемой остаётся недостаточно развитая культура сервиса и слабая координация между участниками цепочек поставок.

Возможность отслеживания грузов улучшается медленно, но стабильно. В 2023 году оценка этого параметра составила 2,89 (ранг 101), тогда как в 2007 году - 2,36 (ранг 100). Увеличение на +0.53 балла за 16 лет - это позитивная тенденция, связанная с частичным внедрением GPS-систем, электронных накладных и автоматизированных складских решений. Тем не менее, отсутствие единой платформы для отслеживания, а также ограниченный доступ к данным в реальном времени продолжают создавать проблемы для бизнеса.

Наиболее слабый показатель у России - пунктуальность доставки, который в 2023 году составил 2,27 (ранг 124), чуть выше, чем в 2007 году (1,82, ранг 144). За эти годы страна смогла улучшить ситуацию на +0,45 баллов, однако задержки и непредсказуемость поставок остаются серьёзными препятствиями для развития международной торговли. Основные причины - состояние дорожной сети, недостаточная координация между видами транспорта, а также высокая степень зависимости от климатических условий в отдалённых регионах. Пунктуальность влияет на доверие международных партнёров и снижает конкурентоспособность российских товаров на внешних рынках.

Общая картина показывает, что все шесть компонентов LPI находятся в диапазоне 2,2–2,9 баллов, то есть ниже среднего уровня, и только один из них - компетентность логистических компаний - приближается к границе среднего значения. Россия уступает по уровню логистической эффективности таким странам, как Польша (3,50), Словения (3,46), ЮАР (2,76), и значительно отстаёт от лидеров - Германии (4,38), Сингапура (4,36) и Японии (4,22). Несмотря на усилия по модернизации и цифровизации, значимых скачков в рейтингах пока не наблюдается.

Особую тревогу вызывает тот факт, что в 2016 году Россия временно упала на 131 место по пунктуальности, что было связано с рядом факторов, включая экономические санкции, снижение инвестиций в транспортную инфраструктуру и усугубление внешнеэкономической ситуации. Однако к 2023 году страна сумела частично восстановить свои позиции, хотя и не вышла на уровень, который можно считать надёжным для участия в современных «точно в срок» (just-in-time) моделях производства.

Таким образом, Россия занимает средне-низкую позицию в мировом рейтинге LPI, и её логистическая система всё ещё сталкивается с рядом структурных проблем. Главные вызовы - это развитие цифровых решений, повышение пунктуальности доставки, ускорение таможенных процедур и расширение доступности качественной транспортной инфраструктуры во всех регионах страны. В то же время данные показывают, что даже небольшие улучшения в одном или двух компонентах могут привести к повышению общего рейтинга, особенно если будет реализован комплекс мер по устранению узких мест.

Если текущие тенденции сохранятся, Россия может рассчитывать на постепенный рост позиций, но для этого необходимо активное участие как государственных, так и частных структур в модернизации логистического пространства.

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. О Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года: Распоряжение Правительства РФ от 27.11.2021 №3363-р (ред. от 06.11.2024).
2. The Logistics Performance Index (LPI) 2007: Connecting to Compete: Trade Logistics in the Global Economy, 2007. 148 p.
3. The Logistics Performance Index (LPI) 2010. Connecting to Compete. Trade Logistics in the Global Economy, 2010. 136 p.
4. The Logistics Performance Index (LPI) 2012. Connecting to Compete. Trade Logistics in the Global Economy, 2012. 142 p.
5. The Logistics Performance Index (LPI) 2014. Connecting to Compete. Trade Logistics in the Global Economy, 2014. 148 p.
6. The Logistics Performance Index (LPI) 2018. Connecting to Compete. Trade Logistics in the Global Economy, 2018. 156 p.
7. The Logistics Performance Index (LPI) 2023. Connecting to Compete. Trade Logistics in an Uncertain Global Economy, 2023. 164 p.
8. Андриянова, М. В. Индекс эффективности логистики (LPI) как индикатор логистических проблем в регионе (на примере РФ) // Инновации и инвестиции. 2018. №5. С. 288-292.
9. Зорина Т. Логистический рейтинг 2018: лидеры и аутсайдеры // Наука и инновации. 2019. №2(192). С. 51-55.
10. Дмитриева О.А. Анализ состояния и проблемы логистики в России // Ученые записки Российской Академии предпринимательства. 2022. Т. 21. №3. С. 14-18. DOI 10.24182/2073-6258-2022-21-3-14-18.
11. Новиков А.Н., Жесткова С.А. Цифровизация управления транспортно-логистическими процессами сетевой доставки груза автомобильным транспортом // Мир транспорта и технологических машин. 2025. №1-3(88). С. 18-23. DOI 10.33979/2073-7432-2025-1-3(88)-18-23.
12. Глаголев С.Н., Еремин С.В., Новиков А.Н., Шевцова А.Г. Повышение эффективности функционирования транспортно-логистического комплекса страны // Мир транспорта и технологических машин. 2024. № 3-2(86). С. 132-138. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-2(86)-132-138.
13. Терехова Е.А., Петрова С.О. Анализ отечественной и зарубежной практики взаимодействия участников ВЭД и государственных органов в сфере ВЭД // Современная экономика: проблемы и решения. 2017. №5(89). С. 95-104.
14. Кузьмина В.М., Локтионова А.А., Цифен Л., Пархомчук М.А. Современная экономическая дипломатия России // Сотрудничество и интеграция. 2019. №1. С. 306-312.
15. Кокушин М.Ч., Корельский Д.А., Реут Е.Н., Терлецкий Д.М. Современное состояние транспортной логистики России // Вестник науки и образования. 2019. №12-3(66). С. 24-26.
16. Непарко М.В., Галстян Н.А. Перспективы и тенденции развития таможенно-логистических кластеров в России // Вестник Академии знаний. 2021. №42(1). С. 232-236. DOI 10.24412/2304-6139-2021-10915.
17. Чибухчан С. Состояние и перспективы развития логистики в странах ЕАЭС // Логистика. 2016. №5(114). С. 26-31.
18. Аристов В.М. Проблема качества логистических услуг в цепях поставок // Экономический вектор. 2018. №1(12). С. 31-37.
19. Аристов В.М. Проблема качества логистических услуг // Экономический вектор. 2016. №4(7). С. 31-34.
20. Хегай Ю.А., Лукьяненко Е.С., Усольцева Е.П. [и др.] Позиция России в сфере логистики по рейтинговым показателям Всемирного банка // Экономика и предпринимательство. 2016. №11-2(76). С. 1034-1037.

Мирошников Евгений Владимирович

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

Доцент кафедры электроэнергетики и автоматики

E-mail: evmiroshnikov@gmail.com

E.V. MIROSHNIKOV

ABOUT THE STATE OF THE COUNTRY'S TRANSPORT AND LOGISTICS COMPLEX

Abstract. *The study analyzes the logistics performance of Russia based on the Logistics Performance Index (LPI) data for the period from 2007 to 2023. The analysis allows us to conclude that increasing logistics efficiency is possible through the modernization of transport infrastructure, the introduction of digital technologies, the simplification of customs procedures and the strengthening of pri-*

vate-public partnerships. The data obtained can be used to develop a strategy for the development of Russia's logistics potential and increase its role in global supply chains.

Keywords: transport and logistics complex, Russian Federation, logistics efficiency index, customs clearance efficiency, infrastructure quality, availability of international transportation, competence of logistics companies, cargo tracking capability and delivery punctuality.

The work was carried out within the framework of the implementation of the federal program for supporting universities «Priority 2030» using equipment based at the High Technology Center of the V.G. Shukhov BSTU.

BIBLIOGRAPHY

1. O Transportnoy strategii Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda s prognozom na period do 2035 goda: Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 27.11.2021 №3363-r (red. ot 06.11.2024).
2. The Logistics Performance Index (LPI) 2007: Connecting to Compete: Trade Logistics in the Global Economy, 2007. 148 p.
3. The Logistics Performance Index (LPI) 2010. Connecting to Compete. Trade Logistics in the Global Economy, 2010. 136 p.
4. The Logistics Performance Index (LPI) 2012. Connecting to Compete. Trade Logistics in the Global Economy, 2012. 142 p.
5. The Logistics Performance Index (LPI) 2014. Connecting to Compete. Trade Logistics in the Global Economy, 2014. 148 p.
6. The Logistics Performance Index (LPI) 2018. Connecting to Compete. Trade Logistics in the Global Economy, 2018. 156 p.
7. The Logistics Performance Index (LPI) 2023. Connecting to Compete. Trade Logistics in an Uncertain Global Economy, 2023. 164 p.
8. Andriyanova, M. V. Indeks effektivnosti logistiki (LPI) kak indikator logisticheskikh problem v regione (na primere RF) // Innovatsii i investitsii. 2018. №5. S. 288-292.
9. Zorina T. Logisticheskii reyting 2018: lidery i autsaydery // Nauka i innovatsii. 2019. №2(192). S. 51-55.
10. Dmitrieva O.A. Analiz sostoyaniya i problemy logistiki v Rossii // Uchenye zapiski Rossiyskoy Akademii predprinimatel'stva. 2022. T. 21. №3. S. 14-18. DOI 10.24182/2073-6258-2022-21-3-14-18.
11. Novikov A.N., Zhestkova S.A. Tsifrovizatsiya upravleniya transportno-logisticheskimi protsessami setevoy dostavki gruzha avtomobil'nym transportom // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2025. №1-3(88). S. 18-23. DOI 10.33979/2073-7432-2025-1-3(88)-18-23.
12. Glagolev S.N., Eremin S.V., Novikov A.N., Shevtsova A.G. Povyshenie effektivnosti funktsionirovaniya transportno-logisticheskogo kompleksa strany // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2024. № 3-2(86). S. 132-138. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-2(86)-132-138.
13. Terekhova E.A., Petrova S.O. Analiz otechestvennoy i zarubezhnoy praktiki vzaimodeystviya uchastnikov VED i gosudarstvennykh organov v sfere VED // Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniya. 2017. №5(89). S. 95-104.
14. Kuz'mina V.M., Loktionova A.A., TSzifen L., Parkhomchuk M.A. Sovremennaya ekonomicheskaya diplomatiya Rossii // Sotrudnichestvo i integratsiya. 2019. №1. S. 306-312.
15. Kokushin M.CH., Korelskiy D.A., Reut E.N., Terletskiy D.M. Sovremennoe sostoyanie transportnoy logistiki Rossii // Vestnik nauki i obrazovaniya. 2019. №12-3(66). S. 24-26.
16. Neparko M.V., Galstyan N.A. Perspektivy i tendentsii razvitiya tamozhenno-logisticheskikh klasterov v Rossii // Vestnik Akademii znaniy. 2021. №42(1). S. 232-236. DOI 10.24412/2304-6139-2021-10915.
17. Chibukhchyan S. Sostoyanie i perspektivy razvitiya logistiki v stranakh EAES // Logistika. 2016. №5(114). S. 26-31.
18. Aristov V.M. Problema kachestva logisticheskikh uslug v tsepyakh postavok // Ekonomicheskii vektor. 2018. №1(12). S. 31-37.
19. Aristov V.M. Problema kachestva logisticheskikh uslug // Ekonomicheskii vektor. 2016. №4(7). S. 31-34.
20. Hegay YU.A., Luk'yanenko E.S., Usol'tseva E.P. [i dr.] Pozitsiya Rossii v sfere logistiki po reytingovym pokazatelyam Vsemirnogo banka // Ekonomika i predprinimatel'stvo. 2016. №11-2(76). S. 1034-1037.

Miroshnikov Evgeny Vladimirovich

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova St., 46

Associate Professor of the Department of Electric Power Engineering and Automation

E-mail: evmiroshnikov@gmail.com

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ГОРОДСКИХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК ПРИ ВНЕДРЕНИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТОМ

Аннотация. Совершенствование организации пассажирских перевозок в настоящее время должно основываться на широком внедрении интеллектуальных транспортных систем: модернизации транспортной сети, внедрении умных светофоров, цифровых сервисов, интернета вещей, цифровых двойников, больших данных. Их внедрение позволит повысить безопасность дорожного движения в реальном времени, предотвратить возможные аварийные ситуации, повысить качество транспортного обслуживания населения и комфортность городской среды.

Ключевые слова: интеллектуальная система, транспортное обслуживание, пассажирские перевозки

Введение

Беспилотные автомобили на дорогах общего пользования, интеллектуальные светофоры, умное дорожное покрытие, взаимодействующие между собой автомобили и инфраструктура, автоматизированное распределение городских транспортных потоков в режиме реального времени – все эти технологии активно развиваются, внедряются в жизнь многих современных городов, образуя интеллектуальные транспортные системы (ИТС) [3].

Плотный трафик автомобилей на улицах мегаполисов диктует необходимость совершенствования применяемых телематических систем, позволяющих оперативно регулировать дорожное движение, например, с использованием знаков с переменным сообщением, при этом обратная связь у улиц города, свидетельствующая об эффективности управления, по-прежнему является как посредством дорожных камер наблюдения, технологии FCD или RDS-TMC [5], так и многих других устройств (рис. 1).

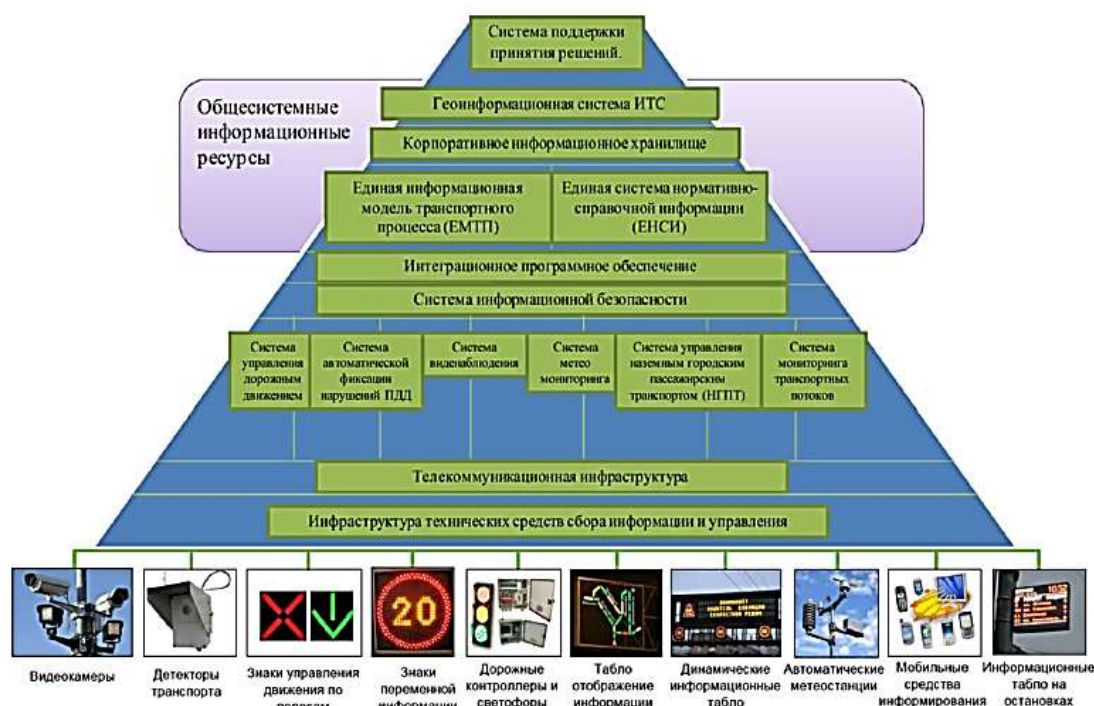


Рисунок 1 - Общая структура ИТС [1]

Потенциальный рост основных показателей работы дорожно-транспортной сети города должен основываться на применении новых подходов к методам планирования и модернизации маршрутной сети общественного транспорта, базой которых является широкая цифровизация всех процессов и использующая интернет вещей (IoT) [2], цифровые двойники [4], нейронные сети [7], big data, искусственный интеллект, машинное обучение и др. [9].

Цель работы – повышение эффективности работы городского пассажирского транспорта.

Для достижения поставленной цели необходимо решить задачи, связанные с применением технологий получения, хранения и анализа Больших данных (big data) [6], включающие пространственную и временную информацию о перемещении транспорта, в том числе маршрутных транспортных средств, их загруженности, местах посадки и высадки пассажиров; загруженности дорожной сети, позволяющей осуществлять прогноз прибытия на ту или иную остановку, что важно как для пассажира, так и для автотранспортного предприятия, осуществляющего перевозки, а также создать, на основе искусственного интеллекта и методов машинного обучения эффективные модели прогнозирования спроса на пассажирские перевозки, управления движением для достижения высоких показателей качества транспортной сети города [8].

Материал и методы

Модернизация дорожно-транспортной сети является важной и сложной задачей, над решением которой работают многие исследователи [13]. Достижения роста числа поездок городского населения зависит от комфортности транспорта, для этого необходимо предоставление ряда предпочтений общественному транспорту [10]. Это может быть достигнуто посредством переработки маршрутной сети города, модернизацией существующей транспортной инфраструктуры. Яркой иллюстрацией такой работы является создание системы выделенных полос движения для общественного транспорта. Также необходимо понимать, что наилучшего эффекта возможно достичь лишь тогда, когда такие выделенные полосы движения создают единую систему [11].

В г. Брянске, в последнее время, практически отошли от несвязанных между собой реконструкции существующих и создании новых дорог, модернизация существующей дорожной инфраструктуры осуществляется в единых рамках интеллектуальной транспортной сети [19]: внедрении умных светофоров, создании выделенных полос движения для общественного транспорта, внедрении единой системы управления дорожным движением, широким внедрением цифровых сервисов, облегчающих жизнь пассажирам [18]. Примером маршрута подобного типа можно считать маршрут №31 (рис. 2). Протяженность маршрута в прямом направлении 39.53 км, количество остановок 74, длина маршрута в обратном направлении 41.37 км, количество остановок -76 [17].

Особенностью данного маршрута является его достаточно большая протяжённость. Загруженность дорог, особенно в часы пиковых нагрузок, приводит к снижению скорости движения менее 15 км/час, поэтому применение выделенных полос движения является благоприятным фактором, снижающим время передвижения пассажиров на маршруте. Для повышения уровня комфорта поездок требуется значительное количество транспортных средств, работающих на маршруте, уменьшения интервала движения [12]. Однако, такой рост оборачивается снижением рентабельности маршрута, приводит к большей загруженности дорожной сети [14].

Возможным способом решения проблемы повышения качества пассажирских перевозок является создание более обширной маршрутной сети, однако это диктует необходимость пассажирам совершать большее количество пересадок. В этом случае целесообразно внедрение системы проезда по одному билету на нескольких маршрутах, подобно тому, как это сделано в г. Москве. Эксперимент, проведенный в 2024 в г. Брянске на маршрутах №3 и №54, курсирующих в микрорайон «Автозаводец» и посёлке Октябрьский до Бежицкого рынка, показал эффективность данного подхода, поэтому в 2025 г. уже восемь автобусных

маршрутов в Брянске включились в эту систему, позволяя пассажирам воспользоваться двумя автобусами в короткий промежуток времени по одной цене [15].

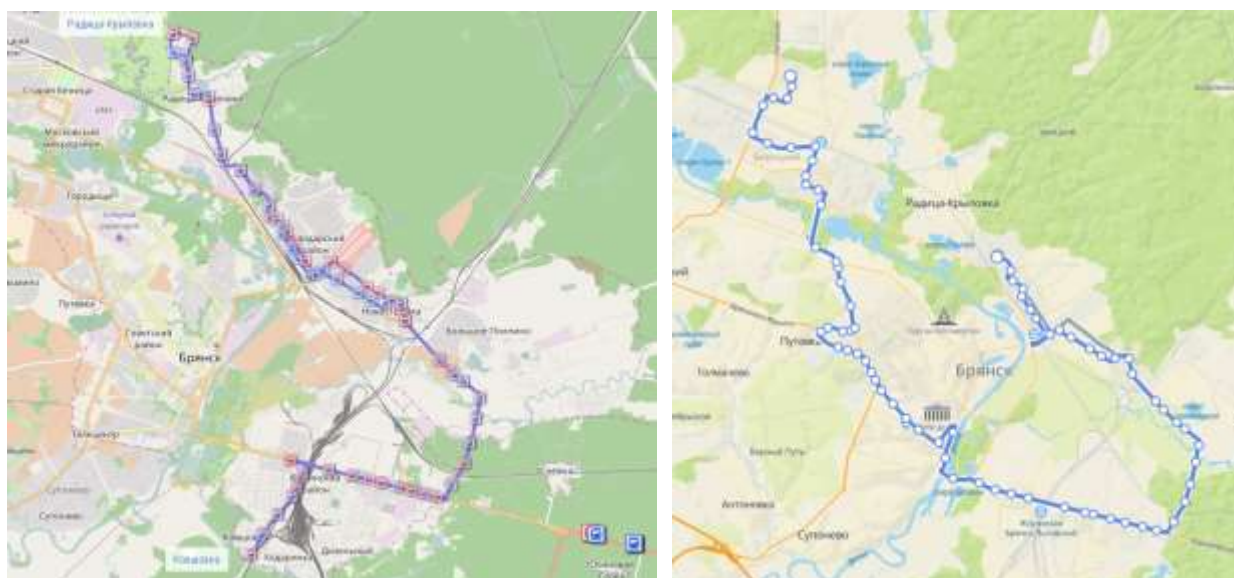


Рисунок 2 - Пример маршрута (до и после изменений) – город Брянск (маршрут 31)

Теория

Совершенствование пассажирских перевозок должно основываться на анализе существующего положения [20].

При проектировании новой маршрутной сети требуется чтобы операционные расходы на создание новой развитой маршрутной сети не повышались [16]. Кроме этого, следует учитывать тот факт, что использование более эффективных видов транспорта, например, метро, предполагает большие капитальные вложения [21]. Использование же автобусов является более целесообразным, как в финансовом плане, так и в мобильном плане, позволяя оперативно изменять маршруты движения, строительство транспортной инфраструктуры значительно проще и дешевле (табл. 1).

Таблица 1 – Структура транспортной вместимости подвижного состава

Расчетный ряд вместимостей подвижного состава, пасс. - мест	Варианты системы городского пассажирского транспорта	Доля осваиваемых пассажиропотоков %
35	Автобус малой вместимости	20-14
90	Троллейбус средней вместимости	76-63
35	Автобус малой вместимости	20-14
90	Автобус большой вместимости	20-40
90	Троллейбус средней вместимости	67-63

Результаты и обсуждение

Обустройство транспортной системы города должно соответствовать следующим условиям:

1) в городах, где численность населения превышает 250 тыс. человек, необходимо так проектировать маршруты движения, чтобы затраты времени 90 % жителей на трудовое передвижение в одну сторону (с учетом подхода к остановочному пункту) не превышало 40 мин. Для городов с меньшим числом жителей это время должно быть не более получаса;

2) для 80 % жителей расстояние от остановки до места жительства не должно превышать 0,5 км и зависит от дальности поездки (табл. 2).

Таблица 2 – Расстояние между остановочными пунктами в зависимости от средней дальности поездки на городском пассажирском транспорте

Средняя дальность поездки пассажира, км	2,5	3	3,5	4,0	4,5	5
Расстояния между остановками, км	0,25-0,37	0,30-0,45	0,35-0,52	0,40-0,60	0,45-0,67	0,5-0,77

3) плотность линий городского пассажирского транспорта [23]:

$$\delta = L/S,$$

где L – протяженность общественного транспорта, км;

S – площадь города, км²) и должна находиться в пределах от 1 до 3,3 км/км².

Рекомендуемые значения:

$\delta=1,7-3,3$ км/км² - центральные районы города;

$\delta = 1,5-2$ км/км² - радиальные линии, проходящих через центр города.

Для периферийных районов городов применяются меньшие значения.

4) степень непрямолинейности транспортных линий - отношение расстояний по транспортной линии между центрами тяготения к расстоянию по воздушной линии, рекомендованные значения:

1,2 – центр - жилые районы;

1,3 - между жилыми районами.

5) маршрутный коэффициент [22]:

$$m = L_m / L_{тс},$$

где L_m – протяженность маршрутов городского транспорта;

$L_{тс}$ – длина улиц, по которым проходят маршруты городского транспорта), рекомендуемый диапазон 1,5-3.

б) коэффициент пересадочности пассажиров β должен составлять 1,1-1,4, в том числе:

- 1,1-1,15 – при обслуживании одним видом транспорта;

- 1,15-1,25 – 2-я видами транспорта;

- 1,25-1,4 – 3-я и более видами транспорта.

7) уровень наполнения подвижного состава должен соответствовать нормативным, в том числе с учетом свободной площади салона.

Выводы

Повышение эффективности работы городского пассажирского транспорта возможно достичь только применяя комплексный подход, заключающийся в согласованности проектирования и модернизации дорожной сети, обустройства выделенных полос движения, оснащения дорожных развязок умными светофорами, а также объединением всех этих элементов в единую интеллектуальную транспортную систему.

Повышение качества обслуживания возможно при широком внедрении цифровых технологий, таких как безналичная оплата проезда, отслеживание положения транспорта, затруднений в движении, оперативном увеличении или уменьшении необходимого количества маршрутных транспортных средств.

Совершенствование организации движения транспортных средств, в том числе внедрение системы пересадок при проезде по одному билету, позволит повысить качество транспортного обслуживания и снизить нагрузку на транспорт.

Таким образом, процесс перехода на инновационные решения в ИТС не может быть одномоментным, он должен быть эволюционным и учитывать экономические и социальные факторы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николаева Р.В., Щур П.Л. Интеллектуальные транспортные системы как средство оптимизации характеристик транспортного потока // Техника и технология транспорта. 2022. №3(26). С. 8.

2. Gavrilović N., Mishra A. Software architecture of the internet of things (IoT) for smart city, healthcare and agriculture: analysis and improvement directions. *J. Ambient Intell Human Comput.* 2021. №12. P. 1315-1336. DOI: 10.1007/s12652-020-02197-3.
3. Kolberg D., Zühlke D. Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies // *IFAC-Papers On Line.* 2015. №48(3). P. 1870-1875. DOI: 10.1016/j.ifacol.2015.06.359.
4. Iliuta Miruna, Pop Eugen, Caramihai Simona, Moisescu Mihnea. A Digital Twin Generic Architecture for Data-Driven Cyber-Physical Production Systems. 2023. doi: 10.1007/978-3-031-24291-5_6.
5. Krenczyk Damian. Digital Twins of Production Systems Based on Discrete Simulation and Machine Learning Algorithms. 2023. doi: 10.1007/978-3-031-42536-3_6.
6. Shvedenko Vladimir, Mozokhin Andrey. Concept of digital twins at life cycle stages of production systems // *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics.* 2020. №20. P. 815-827. doi: 10.17586/2226-1494-2020-20-6-815-827.
7. Тихомиров П.В., Сиваков В.В., Камынин В.В., Сеницын С.С. Применение искусственных нейронных сетей в задачах прогнозирования транспортных процессов // *Мир транспорта и технологических машин.* 2022. №2(77). С. 116-124. DOI 10.33979/2073-7432-2022-77-2-116-124.
8. Shankaran R., Rajendran L. Intelligent Transport Systems and Traffic Management. 2022. DOI: 10.1201/9781003287186-6.
9. Николаев Н.Н., Бельц А.Ф. Оптимизация состава автопарка для пассажирских перевозок на маршруте №3 г. Шахты с применением информационных технологий // *Мир транспорта и технологических машин.* 2018. №4(63). С. 89-95.
10. Гребенкина С.А., Гребенкина И.А. Потенциальные риски внедрения цифровых технологий на транспорте в социальной и экономической сферах РФ // *Вестник НГИЭИ.* 2021. №6(121). С. 68-79. DOI 10.24412/2227-9407-2021-6-68-79.
11. Kiaer Jieun. Public transportation. 2020. DOI: 10.4324/9780367824020-8.
12. Teodorovic Dusan, Janic Milan. Public Transportation Systems. 2022. DOI: 10.1016/B978-0-323-90813-9.00007-2.
13. Uspalyte-Vitkuniene Rasa, Ranceva Justina. Accessibility of Regional Public Transport. 2022. DOI: 10.1007/978-3-030-94774-3_70.
14. Algin V.B., Goman A.M., Skorokhodov A.S. Main operational factors determining the energy consumption of the urban electric bus: schematization and modelling // *Topical Issues of Mechanical Engineering.* 2019. Vol. 8. P. 185-194. EDN SGBPAK.
15. Algin V.B. Electrification of urban transport. Basic stages in creating electric buses fleet // *Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials.* 2018. №3(44). P. 5-17.
16. Ozgun K., Gunay M., Basaran B. et al Analysis of Public Transportation for Efficiency. 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-79357-9_63.
17. Терентьев В.В. Улучшение транспортного обслуживания населения города // *Транспортное дело России.* 2017. №4. С. 91-92.
18. Сиваков В.В., Камынин В.В., Тихомиров П.В. Совершенствование транспортного обслуживания в городе Брянске // *Мир транспорта.* 2022. Т. 20. №4(101). С. 105-110. DOI 10.30932/1992-3252-2022-20-4-9.
19. Сиваков В.В., Камынин В.В., Тихомиров П.В. Совершенствование транспортного обслуживания в городе Брянске // *Мир транспорта.* 2022. Т. 20. №4(101). С. 105-110.
20. Бодров А.С., Кулев М.В., Девятина Д.Ш., Лобынцева О.А. Оценка готовности Орловской городской агломерации к внедрению интеллектуальных транспортных систем // *Мир транспорта и технологических машин.* 2020. №3(70). С. 64-71. DOI: 10.33979/2073-7432-2020-70-3-64-71
21. Журавлева Н.А. Проблемы внедрения цифровых технологий на транспорте // *Транспорт Российской Федерации.* 2019. №3(82). С. 19-22.
22. Горбунова А.Д. Анализ факторов, влияющих на выбор городского регулярного маршрута для ввода электробуса // *Вестник гражданских инженеров.* 2021. №4(87). С. 127-133. DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-4-127-133.
23. Сиваков В.В., Тихомиров П.В., Камынин В.В. Исследование маршрутной совмещенности пассажирской сети города Брянска // *Мир транспорта и технологических машин.* 2021. №3(74). С. 43-49. DOI 10.33979/2073-7432-2021-74-3-43-49.

Разина Кристина Сергеевна

Брянский государственный инженерно-технологический университет

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

Аспирант

E-mail: kristina260319@mail.ru

Сиваков Владимир Викторович

Брянский государственный инженерно-технологический университет

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

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

E-mail: sv@bgitu.ru

Симонов Сергей Александрович

Брянский государственный инженерно-технологический университет

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

К.т.н., доцент, заведующий кафедрой Графики и геодезии

E-mail: simonovsa@yandex.ru

K.S. RASINA, V.V. SIVAKOV, S.A.SIMONOV

THE MAIN DIRECTIONS OF IMPROVEMENT OF URBAN PASSENGER TRANSPORTATION IN THE IMPLEMENTATION OF INTELLIGENT TRANSPORT MANAGEMENT SYSTEMS

Abstract. Improving the organization of passenger transportation should currently be based on the widespread introduction of intelligent transport systems: modernization of the transport network, the introduction of smart traffic lights, digital services, the Internet of things, digital twins, and big data. Their implementation will improve road safety in real time, prevent possible emergencies, improve the quality of public transport services and the comfort of the urban environment.

Keywords: intelligent system, transportation services, passenger transportation

BIBLIOGRAPHY

1. Nikolaeva R.V., Shchur P.L. Intellektual'nye transportnye sistemy kak sredstvo optimizatsii kharakteristik transportnogo potoka // Tekhnika i tekhnologiya transporta. 2022. №3(26). S. 8.
2. Gavrilovi N., Mishra A. Software architecture of the internet of things (IoT) for smart city, healthcare and agriculture: analysis and improvement directions. J. Ambient Intell Human Comput. 2021. №12. P. 1315-1336. DOI: 10.1007/s12652-020-02197-3.
3. Kolberg D., Zhilke D. Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies // IFAC-Papers On Line. 2015. №48(3). R. 1870-1875. DOI: 10.1016/j.ifacol.2015.06.359.
4. Iliuta Miruna, Pop Eugen, Caramihai Simona, Moisescu Mihnea. A Digital Twin Generic Architecture for Data-Driven Cyber-Physical Production Systems. 2023. doi: 10.1007/978-3-031-24291-5_6.
5. Krenczyk Damian. Digital Twins of Production Systems Based on Discrete Simulation and Machine Learning Algorithms. 2023. doi: 10.1007/978-3-031-42536-3_6.
6. Shvedenko Vladimir, Mozokhin Andrey. Concept of digital twins at life cycle stages of production systems // Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics. 2020. №20. R. 815-827. doi: 10.17586/2226-1494-2020-20-6-815-827.
7. Tikhomirov P.V., Sivakov V.V., Kamynin V.V., Sinitsyn S.S. Primenenie iskusstvennykh neyronnykh setey v zadachakh prognozirovaniya transportnykh protsessov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2022. №2(77). S. 116-124. DOI 10.33979/2073-7432-2022-77-2-116-124.
8. Shankaran R., Rajendran L. Intelligent Transport Systems and Traffic Management. 2022. DOI: 10.1201/9781003287186-6.
9. Nikolaev N.N., Bel'ts A.F. Optimizatsiya sostava avtoparka dlya passazhirskikh perevozok na marshrute №3 g. Shakhty s primeneniem informatsionnykh tekhnologiy // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2018. №4(63). S. 89-95.
10. Grebenkina S.A., Grebenkina I.A. Potentsial'nye riski vnedreniya tsifrovyykh tekhnologiy na transporte v sotsial'noy i ekonomicheskoy sferakh RF // Vestnik NGIEI. 2021. №6(121). S. 68-79. DOI 10.24412/2227-9407-2021-6-68-79.
11. Kiaer Jieun. Public transportation. 2020. DOI: 10.4324/9780367824020-8.
12. Teodorovic Dusan, Janic Milan. Public Transportation Systems. 2022. DOI: 10.1016/B978-0-323-90813-9.00007-2.
13. Uspalyte-Vitkuniene Rasa, Ranceva Justina. Accessibility of Regional Public Transport. 2022. DOI: 10.1007/978-3-030-94774-3_70.

14. Algin V.B., Goman A.M., Skorokhodov A.S. Main operational factors determining the energy consumption of the urban electric bus: schematization and modelling // Topical Issues of Mechanical Engineering. 2019. Vol. 8. P. 185-194. EDN SGBPAK.
15. Algin V.B. Electrification of urban transport. Basic stages in creating electric buses fleet // Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials. 2018. №3(44). P. 5-17.
16. Ozgun K., Gunay M., Basaran B. et al Analysis of Public Transportation for Efficiency. 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-79357-9_63.
17. Terent`ev V.V. Uluchshenie transportnogo obsluzhivaniya naseleniya goroda // Transportnoe delo Rossii. 2017. №4. S. 91-92.
18. Sivakov V.V., Kamynin V. V., Tikhomirov P. V. Sovershenstvovanie transportnogo obsluzhivaniya v gorode Bryanske // Mir transporta. 2022. T. 20. №4(101). S. 105-110. DOI 10.30932/1992-3252-2022-20-4-9.
19. Sivakov V.V., Kamynin V.V., Tikhomirov P.V. Sovershenstvovanie transportnogo obsluzhivaniya v gorode Bryanske // Mir transporta. 2022. T. 20. №4(101). S. 105-110.
20. Bodrov A.S., Kulev M.V., Devyatina D.SH., Lobyntseva O.A. Otsenka gotovnosti Orlovskoy gorodskoy aglomeratsii k vnedreniyu intellektual`nykh transportnykh sistem // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2020. №3(70). S. 64-71. DOI: 10.33979/2073-7432-2020-70-3-64-71
21. ZHuravleva N.A. Problemy vnedreniya tsifrovyykh tekhnologiy na transporte // Transport Rossiyskoy Federatsii. 2019. №3(82). S. 19-22.
22. Gorbunova A.D. Analiz faktorov, vliyayushchikh na vybor gorodskogo regul'yarnogo marshruta dlya vvoda elektrobusa // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2021. №4(87). S. 127-133. DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-4-127-133.
23. Sivakov V.V., Tikhomirov P.V., Kamynin V.V. Issledovanie marshrutnoy sovmeshchennosti passazhirskoy seti goroda Bryanska // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2021. №3(74). S. 43-49. DOI 10.33979/2073-7432-2021-74-3-43-49.

Borovaya Kristina Sergeevna

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

Sivakov Vladimir Viktorovich

Bryansk State University of Engineering and Technology
Address: 241037, Russia, Bryansk, prosp. Stanke Dimitrova, 3
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of «Transport and Technological Machines and Services» Department, Deputy Director for Academic Work in Institute of Forest Complex, Transport and Ecology
E-mail: sv@bgtu.ru

Simonov Sergey Alexandrovich

Bryansk State University of Engineering and Technology
Address: 241037, Russia, Bryansk, prosp. Stanke Dimitrova, 3
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Graphics and Geodesy
E-mail: simonovsa@yandex.ru

Научная статья

УДК 656.022.81

doi: 10.33979/2073-7432-2025-4(91)-137-143

С.Р. НАФАСБЕКОВА, М.И. МАЛЫШЕВ, К.И. ЗАБАЛУЕВ, А.А. ПОДБЕРЁЗКИН

**МОДЕЛЬ ИЗМЕНЕНИЯ СРОКОВ ПЕРЕВОЗКИ ПО ЗАПАДНОЙ ВЕТВИ
МЕЖДУНАРОДНОГО ТРАНСПОРТНОГО КОРИДОРА «СЕВЕР-ЮГ»**

***Аннотация.** Предметом исследования является каспийский участок международного транспортного коридора «Север-Юг». Объектом исследования являются затраты времени на преодоление данного участка. В процессе исследования приведена и проанализирована статистика по объемам грузоперевозок по трем направлениям, рассмотрены восточная, западная ветви и транскаспийский участок международного транспортного коридора «Север-Юг». Предложены математические модели расчета срока доставки грузов с учетом различных показателей затрат времени на участке Астара - Решт.*

***Ключевые слова:** МТК «Север-Юг», участок Астара – Решт», транскаспийский маршрут, математическая модель для расчета затрат времени, формирование инфраструктуры*

Введение

В нынешних условиях в российской экономике обозначились приоритетные задачи, среди которых устойчивое развитие транспортной отрасли, увеличение потенциала каналов поставок импортной продукции и формирование новых направлений сбыта сырья и товаров российского производства.

При решении приоритетных экономических и транспортных задач необходимо учитывать ограниченную доступность зарубежной логистической инфраструктуры, воздушного, наземного и водного пространства, а также меры борьбы, предпринимаемые конкурентами [1].

Ключевым транспортно-технологическим решением обозначенных задач может быть формирование и развитие международных транспортных коридоров (МТК) в регионах ожидаемого значительного роста пассажиро- и грузопотоков.

Созданный в 2000 году Ираном, Россией и Индией МТК «Север-Юг» в современных условиях стал одним из ключевых решений обеспечения транспортного обслуживания стран Каспийского региона. Позже к этому соглашению присоединились и другие страны. МТК «Север-Юг», протяженностью около 7200 км, был создан, как альтернатива Южному Морскому Пути, протяженностью около 14500 км [2].

Несмотря на то, что соглашение о создании МТК «Север-Юг» было подписано в 2000 году, проект был «заморожен» ввиду того, что был не так сильно востребован по сравнению с другими на то время рабочими транспортными коридорами и требовал больших вложений.

Предполагалось, что перевозка из Санкт-Петербурга в Мумбаи по МТК «Север-Юг» будет занимать от 15 до 24 дней. Но из-за недостаточно развитой инфраструктуры МТК, например, отсутствия железнодорожного сообщения на участке Решт – Астара в Иране, и увеличенного времени простоев из-за несоответствующей современным требованиям системы управления, фактическое время при тестовой перевозке в 2014 году составило 43 дня. При этом и стоимость перевозки оказалась выше планируемых значений [3].

Не смотря на описанные сложности в реализации данного транспортного проекта, МТК «Север - Юг» имеет хорошие перспективы, так как обеспечивает России выход на рынок не только Индии, Ирана, Турции, Китая и стран каспийского бассейна, а также Арабских стран, но и стран Африки, что особенно важно для развития России, обеспечения международных торговых связей и роста экономических показателей.

За последние два года было выполнено достаточно много научных исследований на темы, связанные с МТК «Север-Юг».

В своей работе Маркелов К.А. описал историю создания МТК «Север-Юг» от начала XXI-го века до современного состояния [4].

Крюкова Е.В. в своей статье приводит результаты анализа трех вариантов маршрута МТК «Север-Юг» [5].

В исследованиях выполнено описание ограничений и проблемы МТК «Север-Юг», а также возможностей пути и перспективы его развития [6].

Были выполнены еще сотни других работ по данной тематике. Но ни в одной работе исследователи не попытались создать математическую модель изменения сроков перевозки с учетом показателей транспортной работы. Так как срок перевозки относится к основным показателям работы транспортной системы, необходимо создать простую и реализуемую формулу для расчета уменьшения сроков перевозки в процентном выражении в зависимости от выбранных показателей.

Целью настоящего исследования является создание математической модели уменьшения сроков перевозки грузов по западной ветви МТК «Север-Юг» после достройки прямого железнодорожного сообщения. Западная ветвь МТК «Север-Юг» выбрана ввиду того, что на нее приходится наибольший объем грузоперевозок.

Для достижения поставленной цели были изучены МТК «Север-Юг» и три его маршрута, проанализированы статистические данные по объемам перевозок, выбран объект для создания математической модели, создана математическая модель изменения сроков перевозки по западной ветви МТК «Север-Юг».

Материал и методы

В процессе выполнения настоящего исследования были использованы данные с официальных сайтов российских коммерческих и государственных организаций и сайтов, располагающихся в интернете под доменными именами иностранных государств. Используются результаты ранее выполненных научных исследований, опубликованные в научных статьях. Для обработки данных и сохранения логики исследования использованы такие научные методы как анализ, дедукция, индукция, моделирование и другие.

Процесс исследования разделен на несколько этапов. На каждом этапе даны объяснения.

На начальном этапе исследование выбрано три варианта маршрута и собрана информация о каждом маршруте и его недостатках. Далее были обработаны статистические данные по каждому направлению, в том числе об инвестициях в этот участок МТК «Север-Юг». Исходя из результатов обработки статистических данных отобран наиболее привлекательный участок маршрута, для которого создана математическая модель.

Теория

Принято определять начало МТК «Север-Юг» в Санкт-Петербурге. В северной части МТК «Север-Юг» проходит через Москву, далее через Саратов, Волгоград, морские порты в Астрахани и Оля. Перевозка грузов по северной части МТК «Север-Юг» осуществляется преимущественно железнодорожным, а также автомобильным видами транспорта [7].

Южной частью МТК «Север-Юг» считается участок от Астрахани до Тегерана. На этом участке МТК имеет три варианта маршрута, на которых могут быть использованы различные виды транспорта [8].

По транскаспийскому маршруту через российские торговые порты Астрахани, Оля и Махачкалы осуществляется доставка грузов в порты Ирана (Астара, Бендер-Энзели, Ноушехр, Нека, Амирабад и др.) [9].

На данном участке пути применяются мультимодальные технологии и сменяются железнодорожный, автомобильный и морской виды транспорта.

Далее для грузов, доставляемых в направлении Индии, может быть обеспечено смешанное автомобильно-железнодорожное или только автомобильное сообщение с портами

Персидского залива.

К недостаткам транскаспийского маршрута южной части МТК «Север-Юг» принято относить недостаточную готовность каспийских портов к существующим и перспективным объемам грузооборота, требуемое время на смену видов транспорта и оформление соответствующих документов, общую дороговизну транспортных процессов и сопутствующих операций.

Восточная ветвь каспийского участка МТК «Север-Юг» имеет прямое железнодорожное сообщение из России в Иран и проходит через Казахстан, Узбекистан и Туркменистан. Пограничные переходы Серахс, Акяйла, Инче Бурун.

К недостаткам восточной ветви МТК «Север-Юг» относят объективную сложность пути, большую протяженность маршрута (длину пути) и разную ширину железнодорожной колеи.

Западная ветвь каспийского участка МТК «Север-Юг» имеет железнодорожное сообщение между Россией и Ираном через Азербайджан, за исключением участка Астара – Решт.

По сравнению с восточным железнодорожным путем западный путь короче, а его недостаток, помимо разной ширины колеи железнодорожного пути, это отсутствие железнодорожного сообщения на участке пути. Расстояние между Астарой и Рештом составляет около 162 км. Отсутствие на этом участке железнодорожного сообщения усложняет перевозку и увеличивает время в пути.

Как и ожидалось объем грузоперевозок по МТК «Север-Юг» значительно вырос за последние 2 года. Например, за первые 5 месяцев 2023 года объем по железнодорожным направлениям вырос более чем на 40 % процентов до 4 млн. тонн. Самый высокий объем приходилось на западное направление с ростом в 37,9 %, доходя до отметки 3,6 млн тонн. Хотя транскаспийское и восточное направление показали высокую динамику роста в 80,5 % и 80,3 % соответственно, но объемы перевозок в 117,7 тыс. тонн и 353,5 тыс. тонн сильно уступают западному направлению [10].

Из данной статистики можно сделать вывод, что спрос на перевозку в западном направлении намного выше по сравнению с остальными направлениями, хотя транспортные пути в этом направлении еще окончательно не сформировались.

По западному направлению грузы идут по прямому железнодорожному сообщению до станции Астара в Иране (рис. 1). Далее груз преодолевает 162 км автомобильным транспортом [11].

Учитывая не высокую стоимость дизельного топлива в Иране, отсутствие железнодорожного сообщения не так сильно сказывается на стоимости, как на сроках доставки. Время доставки увеличивается в связи с необходимостью смены видов транспорта. А в случае перевозки автотранспортом только до железнодорожной станции Решт и дальше железнодорожным путем, срок доставки увеличивается на время перевалки грузов с автотранспорта на железнодорожный.

Из-за актуальности и востребованности данного пути страны участники соглашения пришли к выводу, что надо инвестировать в МТК, а именно в транспортные комплексы и транспортные сообщения, чтобы увеличить пропускную способность и тем самым уменьшить сроки перевозки. 69 % инвестиций направлены на развитие Западной ветви МТК «Север-Юг», а именно на постройку последнего недостающего железнодорожного участка из Астары в Решт [12]. 17 мая 2023 Россия и Иран подписали соглашение о совместном строительстве 160-километрового участка железной дороги на участке Астара – Решт в рамках проекта МТК «Север-Юг» [13]. Общая стоимость проекта составляет 1,6 млрд евро. Предполагается, что строительство закончится в 2028 году.

Принято решение о строительстве совмещенной колеи на данном участке. Сначала европейской, шириной в 1435 мм (в Иране европейская колея), а потом и российской, шириной в 1520 мм [14].

Во время Церемонии подписания межправительственных соглашений с Ираном о сотрудничестве по созданию участка железной дороги Решт – Астара было указано, что сроки

перевозки товаров из Санкт-Петербурга в Мумбаи займут всего лишь 10 суток, вместо 30-45 по традиционному маршруту [15].



Рисунок 1 – Участок Решт - Астара на маршруте МТК «Север - Юг»

Результаты и обсуждение

Для того чтобы узнать на сколько процентов уменьшатся сроки перевозки грузов после постройки железнодорожного участка «Астара - Решт» надо создать математическую модель. Для сравнения была взята недостроенная западную ветвь МТК «Север-Юг» и эта же ветвь после достройки, чтобы сравнение было более точными. Причиной такого выбора также можно назвать востребованность данного пути и то, что даже до достройки железнодорожного пути объем перевозки по данному направлению больше, чем по другим направлениям.

Предположим, что нужно доставить железнодорожный контейнер с товаром из Санкт-Петербурга в Мумбаи. Создание математической модели можно разделить на 3 части.

Первая часть, это математическая модель сроков перевозки до достройки железнодорожного участка Астара – Решт.

Для начало потребуется время на доставку товара до железнодорожной станции, на приёмку с необходимыми сопровождающими документами, на все необходимые операции, на погрузку и на простой в пункте отправления. Все это время, включая другие временные затраты, которые потребуются на станции отправления, назовём временем на станции отправления и обозначим как $T_{ПО}$.

Далее контейнер отправляется железнодорожным сообщением до станции Астара. В данном случае будем суммировать время в пути в соответствии с режимом труда и отдыха водителя, время на пересечении границ и другие требуемые временные затраты. Данное время назовем временем в пути №1 и обозначим как $T_{ВП1}$.

Далее происходит перегрузка и смена транспортного средства на автомобильный транспорт. Время, потраченное на эти операции, назовем временем на перевалку и обозначим как $T_{П}$.

После перевалки контейнер автомобильным транспортом отправляется до морского порта Бендер-Аббас. Время в пути в соответствии с режимом труда и отдыха водителей и

другие требуемые временные затраты назовем временем в пути №2 и обозначим как $T_{ВП2}$.

Далее груз временно хранится на складе порта и проходит все необходимые испытания при необходимости, проверяется в соответствии с сопроводительными документами и погружается на судно. Все перечисленное время и другие временные затраты в порту до отплытия назовем временем в порту и обозначим как $T_{ВП}$.

Далее груз морским путем доставляется в порт Мумбаи. Все время, потраченное в море и на принятие груза в порту назначения назовем временем в пути №3 и обозначим как $T_{ВП3}$.

Исходя из наших обозначений можем записать такую математическую модель, где $T_{Д1}$ обозначает сроки перевозки по Западной ветви МТК «Север-Юг» до достройки железнодорожного участка Астара - Решт:

$$T_{Д1} = T_{СО} + T_{ВП1} + T_{П} + T_{ВП2} + T_{ВП} + T_{ВП3},$$

Вторая часть посвящена математической модели определения сроков перевозки после достройки железнодорожного участка Астара – Решт.

Во второй части также будут учитываться показатели $T_{СО}$, $T_{ВП}$ и $T_{ВП3}$, так как перевозка на этих участках никак не меняется. На станции отправления время остается то же, что в первой части, поэтому обозначение $T_{СО}$ не меняется.

Время в пути остается почти неизменным за исключением того, что в этом случае груз идет до железнодорожной станции Решт, проходя станцию Астара. В таком случае это время назовем временем в пути до Решта и обозначим как $T_{ВП1}$.

Не забываем про смену колеи в железнодорожной станции Решт. Смена колеи обычно занимает не больше часа. Назовем это временем на смену колеи и обозначим как $T_{СК}$.

Далее груз идет по иранской железной дороге до порта Бендер-Аббас. Все время, потраченное в пути обозначим как $T_{ВП2}$.

Далее груз следует тем же путем и пройдет те же этапы, как в первой части, поэтому обозначения $T_{ВП}$ и $T_{ВП3}$ остаются неизменными.

Исходя из наших обозначений можем написать такую математическую модель, где $T_{Д2}$ обозначает сроки перевозки по Западной ветви МТК «Север-Юг» после достройки железнодорожного участка Астара – Решт.

$$T_{Д2} = T_{СО} + T_{ВП1} + T_{СК} + T_{ВП2} + T_{ВП} + T_{ВП3},$$

В третьей части построим математическую модель изменения сроков перевозки в процентном выражении.

Для этого соотнесем сроки перевозки до достройки, $T_{Д1}$ и сроки перевозки после достройки, $T_{Д2}$, умножим на 100% и уменьшим на 100%, чтобы определить, на сколько процентов сроки перевозки уменьшаться в процентном выражении, которое обозначим как $У$:

$$У = \frac{T_{Д1}}{T_{Д2}} \times 100\% - 100\%,$$

Подставим значения $T_{Д1}$ и $T_{Д2}$, тогда получится следующая математическая модель:

$$У = \frac{T_{СО} + T_{ВП1} + T_{П} + T_{ВП2} + T_{ВП} + T_{ВП3}}{T_{СО} + T_{ВП1} + T_{СК} + T_{ВП2} + T_{ВП} + T_{ВП3}} \times 100\% - 100\%,$$

В настоящей модели могут быть учтены другие затраты времени.

Выводы

В настоящем исследовании была показана значимость МТК «Север-Юг» для развития экономики и международных отношений. Кратко описана базовая информация о самом МТК и трех его маршрутах с разъяснениями и указанием основных недостатков. Проанализированы статистические данные и выделен самый востребованный маршрут. По данному маршруту в три этапа создана математическая модель. Математическая модель учитывает сроки перевозки до и после строительства железнодорожного пути на участке Астара – Решт западной ветви южного участка МТК «Север-Юг» и приведена в процентное выражение.

Цель данной научной статьи была достигнута – создана математическая модель уменьшения сроков перевозки по западной ветви МТК «Север-Юг». Также в процессе исследования подтверждена актуальность и востребованность МТК «Север-Юг», дано описание направлений МТК «Север-Юг» с учетом статистики по объемам перевозок грузов по трем направлениям.

Полученная модель расчета сроков перевозки предназначена для использования в разработке программных продуктов при создании цифровых инструментов управления перевозками и интеллектуальных транспортных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батищев И.И., Низов М.А., Можайская И.А. Актуальные проблемы развития рынка грузовых авто-транспортных перевозок // Всероссийский экономический журнал ЭКО. 2022. №9(579). С. 46-65.
2. Выдашенко Л.А., Выдашенко П.А. Новые тенденции и перспективы развития международного транспортного коридора «Север-Юг» // Бюллетень науки и практики. 2023. Т. 9. №2. С. 239-246.
3. Горчаков В.В. Российско-китайское сотрудничество в области транспорта // Таможенная политика России на Дальнем Востоке. 2023. №3(104). С. 11-23.
4. Маркелов К.А. История и современность в развитии международного транспортного коридора «Север-Юг» // Каспийский регион: политика, экономика, культура. 2022. №1(70). С. 98-109.
5. Крюкова Е.В. Развитие международных транспортных коридоров на территории России // Вестник Волгоградского государственного университета. Экономика. 2021. Т. 23. №2. С. 97-106.
6. Баженов Ю., Грозин А. Международный транспортный коридор «Север-Юг» как фактор интеграции евразийского пространства // Вестник транспорта. 2012. №11. С. 2.
7. Баранова Н.А., Субботина Т.Н. Проблемы промышленных предприятий в условиях геополитического кризиса и санкционных ограничений // Экономика и бизнес: теория и практика. 2022. №5-1. С. 80-84.
8. Малышева Д.Б. Международный транспортный коридор «Север-Юг» в стратегии России // Россия и новые государства Евразии. 2021. №2. С. 59-72.
9. Федулов И.В. Международный транспортный коридор «Север-Юг» в новых геополитических условиях: современное состояние и перспективы // Восточная аналитика. 2023. Т. 14. №3. С. 81.
10. Грузы поехали в Иран [Электронный ресурс] / Коммерсантъ. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6027431>.
11. Галимова М.П., Тамбов В.В. Стратегические разрывы и окна возможностей развития транспортных систем РФ // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. 2016. №5(15). С. 36-43.
12. Пустынникова Е.В. Разработка эффективного координационного механизма по управлению транспортным коридором «Север-Юг» // Интеллектуальная платформенная экономика: тенденции развития. 2023. С. 359-381.
13. Россия и Иран договорились о строительстве железной дороги для развития международного транспортного коридора «Север – Юг» [Электронный ресурс] / Министерство транспорта Российской Федерации. URL: <https://mintrans.gov.ru/press-center/news/10711>.
14. Иран встает с колес [Электронный ресурс] / Коммерсантъ. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/5987808>.
15. Завершился второй день рабочего визита Александра Новака в Иран [Электронный ресурс] / Правительство России. URL: <http://government.ru/news/48499/>.

Нафасбекова Саида Ризоевна

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

Адрес: 125319, Россия, г. Москва, Ленинградский проспект, д. 64

Студент

E-mail: s.nafasbekova2003@gmail.com

Малышев Максим Игорьевич

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

Адрес: 125319, Россия, Москва, Ленинградский проспект, д. 64

К.т.н., доцент, доцент кафедры Менеджмент

E-mail: dicorus@mail.ru

Забалуев Кирилл Игоревич

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

Адрес: 125319, Россия, г. Москва, Ленинградский проспект, д. 64

Аспирант

E-mail: Zabaluevkir@gmail.com

Подберёзкин Александр Александрович

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

Адрес: 125319, Россия, г. Москва, Ленинградский проспект, д. 64

Старший преподаватель, аспирант

E-mail: a.podberezkin@madi.ru

S.R. NAFASBEKOVA, M.I. MALYSHEV, K.I. ZABALUEV, A.A. PODBEREZKIN

A MODEL FOR CHANGING TRANSPORTATION TIMES ALONG THE WESTERN BRANCH OF THE NORTH-SOUTH INTERNATIONAL TRANSPORT CORRIDOR

Abstract. The subject of the study is the Caspian section of the North-South international transport

corridor. The object of the study is the time spent on overcoming this section. In the course of the study, statistics on cargo transportation volumes in three directions were presented and analyzed, and the eastern, western branches and the trans-Caspian section of the North-South international transport corridor were considered. Mathematical models for calculating the delivery time of goods are proposed, taking into account various indicators of time spent on the Astara – Rasht section.

Keywords: MTK North-South, Astara–Rasht section, trans-Caspian route, mathematical model for calculating time costs, infrastructure development

BIBLIOGRAPHY

1. Batishchev I.I., Nizov M.A., Mozhayskaya I.A. Aktual'nye problemy razvitiya rynka gruzovykh avto-transportnykh perevozok // Vserossiyskiy ekonomicheskii zhurnal EKO. 2022. №9(579). S. 46-65.
2. Vydashenko L.A., Vydashenko P.A. Novye tendentsii i perspektivy razvitiya mezhdunarodnogo transportnogo koridora "Sever-YUG" // Byulleten' nauki i praktiki. 2023. T. 9. №2. S. 239-246.
3. Gorchakov V.V. Rossiysko-kitayskoe sotrudnichestvo v oblasti transporta // Tamozhennaya politika Rossii na Dal'nem Vostoke. 2023. №3(104). S. 11-23.
4. Markelov K.A. Istoriya i sovremennost' v razvitiy mezhdunarodnogo transportnogo koridora «Sever-YUG» // Kaspiyskiy region: politika, ekonomika, kul'tura. 2022. №1(70). S. 98-109.
5. Kryukova E.V. Razvitie mezhdunarodnykh transportnykh koridorov na territorii Rossii // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika. 2021. T. 23. №2. S. 97-106.
6. Bazhenov YU., Grozin A. Mezhdunarodnyy transportnyy koridor «Sever-YUG» kak faktor integratsii evraziyskogo prostranstva // Vestnik transporta. 2012. №11. S. 2.
7. Baranova N.A., Subbotina T.N. Problemy promyshlennykh predpriyatiy v usloviyakh geopoliticheskogo krizisa i sanktsionnykh ogranicheniy // Ekonomika i biznes: teoriya i praktika. 2022. №5-1. S. 80-84.
8. Malysheva D.B. Mezhdunarodnyy transportnyy koridor «Sever-YUG» v strategii Rossii // Rossiya i novye gosudarstva Evrazii. 2021. №2. S. 59-72.
9. Fedulov I.V. Mezhdunarodnyy transportnyy koridor «Sever-YUG» v novykh geopoliticheskikh usloviyakh: sovremennoe sostoyanie i perspektivy // Vostochnaya analitika. 2023. T. 14. №3. S. 81.
10. Gruzy poekhali v Iran [Elektronnyy resurs] / Kommersant. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6027431>.
11. Galimova M.P., Tambov V.V. Strategicheskie razryvy i okna vozmozhnostey razvitiya transportnykh sistem RF // Innovatsionnaya ekonomika: perspektivy razvitiya i sovershenstvovaniya. 2016. №5(15). S. 36-43.
12. Pustynnikova E.V. Razrabotka effektivnogo koordinatsionnogo mekhanizma po upravleniyu transportnym koridorom «Sever-YUG» // Intellektual'naya platformennaya ekonomika: tendentsii razvitiya. 2023. S. 359-381.
13. Rossiya i Iran dogovorilis' o stroitel'stve zheleznoy dorogi dlya razvitiya mezhdunarodnogo transportnogo koridora «Sever-Yug» [Elektronnyy resurs] / Ministerstvo transporta Rossiyskoy Federatsii. URL: <https://mintrans.gov.ru/press-center/news/10711>.
14. Iran vstaet s koley [Elektronnyy resurs] / Kommersant. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/5987808>.
15. Zavershil'sya vtoroy den' rabochego vizita Aleksandra Novaka v Iran [Elektronnyy resurs] / Pravitel'stvo Rossii. URL: <http://government.ru/news/48499/>.

Nafasbekova Saida Rizeevna

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)

Address: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky prospect, 64

Student

E-mail: s.nafasbekova2003@gmail.com

Malyshev Maxim Igor'evich

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)

Address: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky prospect, 64

Candidate of Technical Sciences

E-mail: dicorus@mail.ru

Zabaluev Kirill Igorevich

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)

Address: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky prospect, 64

Graduate student

E-mail: Zabaluevkir@gmail.com

Podberjzkin Aleksandr Aleksandrovich

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)

Address: 125319, Russia, Moscow, Leningradsky prospect, 64

Senior lecturer, graduate student

E-mail: a.podberezkin@madi.ru

Уважаемые авторы!
Просим Вас ознакомиться с требованиями
к оформлению научных статей.

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

- Представляемый материал должен быть оригинальным (оригинальность не менее 70 %), не опубликованным ранее в других печатных изданиях.
- объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах формата А4 и содержит от 4 до 9 страниц;
- статья предоставляется в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе);
- в одном номере может быть опубликована только одна статья одного автора, включая соавторство;
- если статья возвращается автору на доработку, исправленный вариант следует прислать в редакцию повторно, приложив письмо с ответами на замечания. Доработанный вариант статьи рецензируется и рассматривается редакционной коллегией вновь. Датой представления материала считается дата поступления в редакцию окончательного варианта исправленной статьи;
- аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах, списки литературы будут находиться в свободном доступе на сайте соответствующего журнала и на сайте Российской научной электронной библиотеки - РУНЭБ (Российский индекс научного цитирования).

ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ

Научная статья, предоставляемая в журнал, должна иметь следующие **обязательные элементы**:

Введение

Укажите цели работы и предоставьте достаточный накопленный опыт, избегая подробного обзора литературы или обобщенных результатов.

Материал и методы

Предоставьте достаточно подробных сведений, чтобы можно было воспроизвести работу независимым исследователем. Методы, которые уже опубликованы, должны быть обобщены и указаны ссылкой. Если вы цитируете непосредственно из ранее опубликованного метода, используйте кавычки и также ссылаетесь на источник. Любые изменения существующих методов также должны быть описаны.

Теория / расчет

Раздел «Теория» должен продлить, а не повторять предысторию статьи, уже рассмотренную во введении, и заложить основу для дальнейшей работы. Напротив, раздел «Расчет» представляет собой практическое развитие с теоретической основы.

Результаты

Результаты должны быть четкими и краткими.

Обсуждение

Здесь необходимо рассмотреть значимость результатов работы, а не повторять их. Часто целесообразен комбинированный раздел «Результаты и обсуждение». Избегайте подробных цитат и обсуждений опубликованной литературы.

Выводы

Основные выводы исследования могут быть представлены в кратком разделе «Выводы», который может стоять отдельно или составлять подраздел раздела «Обсуждение» или «Результаты и обсуждение».

В тексте статьи **не рекомендуется**:

- применять обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
 - применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
 - применять произвольные словообразования;
 - применять сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими стандартами;
- Сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ

Статья должна быть набрана шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ - 1,25 см, правое поле - 2 см, левое поле - 2 см, поля внизу и сверху - 2 см.

Обязательные элементы:

- **заглавие** (на русском и английском языке) публикуемого материала - должно быть точным и ёмким; слова, входящие в заглавие, должны быть ясными сами по себе, а не только в контексте; следует избегать сложных синтаксических конструкций, новых словообразований и терминов, а также слов узкопрофессионального и местного значения;

- **аннотация** (на русском и английском языке) - описывает цели и задачи проведенного исследования, а также возможности его практического применения, указывает, что нового несет в себе материал; рекомендуемый средний объем - 500 печатных знаков;

- **ключевые слова** (на русском и английском языке) - это текстовые метки, по которым можно найти статью при поиске и определить предметную область текста; обычно их выбирают из текста публикуемого материала, достаточно 5-10 ключевых слов;

- **список литературы** должен содержать 15-20 источников. В списке литературы количество источников, принадлежащих любому автору не должно превышать 30% от общего количества.

ПОСТРОЕНИЕ СТАТЬИ

- Индекс универсальной десятичной классификации (УДК) - сверху слева с абзацным отступом.
- С пропуском одной строки - выровненные по центру страницы, без абзацного отступа и набранные прописными буквами светлым шрифтом 12 pt инициалы и фамилии авторов (И.И. ИВАНОВ).

- С пропуском одной строки - название статьи, набранное без абзацного отступа прописными буквами полужирным шрифтом 14 pt и расположенное по центру страницы.
- С пропуском одной строки - краткая (не более 10 строк) аннотация, набранная с абзацного отступа курсивным шрифтом 10 pt на русском языке. С абзацного отступа - ключевые слова на русском языке.
- Текст статьи, набранный обычным шрифтом прямого начертания 12 pt, с абзацной строки, расположенный по ширине страницы.
- Список литературы, набранный обычным шрифтом прямого начертания 10 pt, помещается в конце статьи. Заголовок «**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**» набирается полужирным шрифтом 12 pt прописными буквами с выравниванием по центру.
- После списка литературы, с абзацного отступа, приводятся набранные обычным шрифтом 10 pt сведения об авторах (на русском языке) в такой последовательности:
Фамилия, имя, отчество (полужирный шрифт)
Учреждение или организация
Адрес
Ученая степень, ученое звание, должность
Электронная почта (обычный шрифт), не может повторяться у двух и более авторов
- С пропуском одной строки - выровненные по центру страницы, без абзацного отступа и набранные прописными буквами светлым шрифтом 12 pt инициалы и фамилии авторов (на английском языке).
- С пропуском одной строки - название статьи, набранное без абзацного отступа прописными буквами полужирным шрифтом 14 pt и расположенное по центру страницы (на английском языке).
- Краткая (не более 10 строк) аннотация, набранная с абзацного отступа курсивным шрифтом 10 pt, с абзацного отступа - ключевые слова (на английском языке).
- С абзацного отступа, приводятся набранные обычным шрифтом 10 pt сведения об авторах (на английском языке).

ТАБЛИЦЫ, РИСУНКИ, ФОРМУЛЫ

Все таблицы, рисунки и основные формулы, приведенные в тексте статьи, должны быть пронумерованы.

Формулы следует набирать в редакторе формул Microsoft Equation 3.0 с размерами: обычный шрифт - 12 pt, крупный индекс - 10 pt, мелкий индекс - 8 pt.

Формулы, внедренные как изображение, не допускаются!

Русские и греческие буквы, а также обозначения тригонометрических функций, набираются прямым шрифтом, латинские буквы - курсивом.

Формулы располагают по центру страницы и нумеруют (только те, на которые приводят ссылки); порядковый номер формулы обозначается арабскими цифрами в круглых скобках около правого поля страницы.

В формулах в качестве символов следует применять обозначения, установленные соответствующими стандартами. Описание начинается со слова «где» без двоеточия, без абзацного отступа; пояснение каждого символа дается с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формуле. Единицы измерения даются в соответствии с Международной системой единиц СИ.

Переносить формулы на следующую строку допускается только на знаках выполняемых операций, причем знак в начале следующей строки повторяют.

Пример оформления формулы в тексте

$$q_1 = (\alpha - 1)^2 (1 + \frac{1}{2\alpha}) / d, \quad (1)$$

где $\alpha = 1 + 2a/b$ - коэффициент концентрации напряжений;

$d = 2a$ - размер эллиптического отверстия вдоль опасного сечения.

Рисунки и другие иллюстрации (чертежи, графики, схемы, диаграммы, фотоснимки) следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые. Рисунки, число которых должно быть логически оправданным, представляются в виде отдельных файлов в формате *.eps (Encapsulated PostScript) или TIF размером не менее 300 dpi.

Если рисунок небольшого размера, желательно его обтекание текстом.

Подписи к рисункам (полужирный шрифт курсивного начертания 10 pt) выравнивают по центру страницы, в конце подписи точка не ставится, например:

Рисунок 1 - Текст подписи

Пояснительные данные набираются светлым шрифтом курсивного начертания 10 pt и ставят после наименования рисунка.

Таблицы должны сопровождаться ссылками в тексте.

Заголовки граф и строк таблицы пишутся с прописной буквы, а подзаголовки - со строчной, если они составляют одно предложение с заголовком, или с прописной буквы, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставятся. Текст внутри таблицы в зависимости от объема размещаемого материала может быть набран шрифтом меньшего кегля, но не менее 10 pt. Текст в столбцах располагают от левого края либо центрируют.

Слово «Таблица» размещается по левому краю, после него через тире располагается название таблицы, например: Таблица 1 - Текст названия

Если в конце страницы таблица прерывается и ее продолжение будет на следующей странице, нижнюю горизонтальную линию в первой части таблицы не проводят. При переносе части таблицы на другую страницу над ней пишут слово «Продолжение» и указывают номер таблицы: Пример: Продолжение таблицы 1

Нумерация граф таблицы арабскими цифрами необходима только в тех случаях, когда в тексте имеются ссылки на них, при делении таблицы на части, а также при переносе части таблицы на следующую страницу.

Адрес издателя:

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302026, Орловская обл., г. Орёл, ул. Комсомольская, 95
Тел.: (4862) 75-13-18
www.oreluniver.ru.
E-mail: info@oreluniver.ru

Адрес редакции:

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302030, Орловская обл., г. Орёл, ул. Московская, 77
Тел.+7 905 856 6556
www.oreluniver.ru.
E-mail: srmostu@mail.ru

Материалы статей печатаются в авторской редакции

Право использования произведений предоставлено авторами на основании
п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации

Технический редактор, корректор,
компьютерная верстка И.В. Акимочкина

Подписано в печать 12.11.2025 г.

Дата выхода в свет 25.11.2025 г.

Формат 70x108/16. Усл. печ. л. 9.1

Цена свободная. Тираж 500 экз.

Заказ № 285

Отпечатано с готового оригинал-макета
на полиграфической базе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95