

ISSN 2073-7432

**МИР ТРАНСПОРТА
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН**

НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 3-4 (82) 2023

Главный редактор:
Новиков А.Н. д-р техн. наук, проф.

Заместители главного редактора:
Васильева В.В. канд. техн. наук, доц.
Родимцев С.А. д-р техн. наук, доц.

Редколлегия:
Агеев Е.В. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Агуреев И.Е. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Бажин А.В. д-р техн. наук, проф. (Украина)
Басков В.Н. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Власов В.М. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Глаголев С.Н. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Демич М. д-р техн. наук, проф. (Сербия)
Денисов А.С. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Жаковская Л. д-р наук, проф. (Польша)
Жанказиев С.В. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Зырянов В.В. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Мартюченко И.Г. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Митусов А.А. д-р техн. наук, проф. (Казахстан)
Нордин В.В. канд. техн. наук, доц. (Россия)
Прентковский О. д-р техн. наук, проф. (Литва)
Пржибыл П. д-р техн. наук, проф. (Чехия)
Пушкарев А.Е. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Ременцов А.Н. д-р пед. наук, проф. (Россия)
Сарбаев В.И. д-р техн. наук, профессор (Россия)
Сиваченко Л.А. д-р техн. наук, проф. (Беларусь)
Юнгмейстер Д.А. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Шарата А. д-р наук, проф. (Польша)

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

Адрес редколлегии:
302030, Россия, Орловская обл., г. Орёл,
ул. Московская, 77
Тел. +7 905 856 6556
<https://oreluniver.ru/science/journal/mtitmt>
E-mail: srmostu@mail.ru

Зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).
Свидетельство: ПИ № ФС77-67027 от 30.08.2016г.

Подписной индекс: **16376**
по объединенному каталогу «Пресса России»
на сайтах www.ppressa-rg.ru и www.akc.ru

© Составление. ОГУ имени И.С. Тургенева,
2023

Содержание

Материалы IX международной научно-практической конференции
«Информационные технологии и инновации на транспорте»

Эксплуатация, ремонт, восстановление

А.А. Туманов, С.Н. Бондаренко, С.А. Гнездилова Исследование влияние ремонтных «окон» на выполнение показателей эксплуатационной работы 3

Н.А. Землянушина, С.Ю. Радченко, Д.О. Дорохов, Н.Ю. Землянушина К оценке влияния восстановления упругости клапанных пружин на эксплуатационные показатели автомобильных двигателей 10

В.Н. Сидоров, Тинт Наинг Вин, В.М. Алакин Математическое моделирование процесса комбинированной рычажно-электромагнитной системы поперечной стабилизации 18

А.А. Польшин, Н.С. Любимый, И.В. Семёнов, А.К. Мальцев Современные методы при ремонте и восстановлении деталей машин для повышения эффективности транспортно-дорожного комплекса 26

Технологические машины

А.А. Маташинёв, Д.А. Чудаков, А.М. Климович, В.В. Булычев Разработка автономного абразивоструйного аппарата на базе шасси МАЗ-6501 40

Безопасность движения и автомобильные перевозки

А.Г. Локтионова, А.Г. Шевцова, Е.В. Копылова, Н.А. Щетинин Исследование разнородности динамических показателей легковых автомобилей для повышения эффективности функционирования городских транспортных систем... 47

Т.Б. Брянских Методика организации парковки автомобилей индивидуального использования жителей многоэтажной жилой застройки 53

Е.А. Чеботарева Моделирование элементов профессиональной интуиции в человеко-машинных системах для решения задач оперативного управления железнодорожным транспортом 61

Л.Е. Куценко, А.С. Камбур Особенности анализа аварийности с участием пешеходов на территории Белгородской области 70

У.А. Якушева, А.Н. Новиков, А.Г. Шевцова Перспективные методы совершенствования качества обслуживания пассажиров на вокзальных комплексах 77

В.Н. Басков, А.В. Игнатов, А.А. Неволин Повышение безопасности эксплуатации автотранспортных средств с учетом показателей надежности водителя 83

Ц. Цзинь Применение анализа данных в обеспечении безопасности дорожного движения в Китайской народной республике 90

К.И. Саркисова, Н.В. Черных Разработка методики оценки эффективности функционирования остановочных пунктов наземного городского пассажирского транспорта 98

И.Д. Бешенцев, А.И. Беляев Формирование I этапа плана восстановления трамвайного хозяйства Санкт-Петербурга: определение ключевых целей и задач 107

Вопросы экологии

С.В. Корнеев, С.В. Пащукевич, В.Д. Бакулина Влияние загрязнений на показатели качества минерального моторного масла 117

Образование и кадры

С.И. Корягин, А.В. Бабкин, И.В. Либерман, П.М. Клачек Индустрия 5.0: создание интеллектуальных транспортных киберсоциальных экосистем 123

Экономика и управление

И.М. Михневич Сравнение методик оценки устойчивого развития городских агломераций после внедрения систем скоростных автобусных перевозок (САП) 131

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

World of transport and technological machines

Scientific and technical journal

Published since 2003

A quarterly review

№ 3-4(82) 2023

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

<p><i>Editor-in-Chief</i> A.N. Novikov <i>Doc. Eng., Prof</i></p> <p><i>Associates Editor</i> V.V. Vasileva <i>Can. Eng.</i> S.A. Rodimzev <i>Doc. Eng.</i></p> <p><i>Editorial Board:</i> E.V. Ageev <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> I.E. Agureev <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> A.V. Bazhinov <i>Doc. Eng., Prof. (Ukraine)</i> V.N. Baskov <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> V.M. Vlasov <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> S.N. Glagolev <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> M. Demic <i>Doc. Eng., Prof. (Serbia)</i> A.S. Denisov <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> L. Żakowska <i>Ph.D., Doc. Sc., Prof. (Poland)</i> S.V. Zhankaziev <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> V.V. Zyryanov <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> I.G. Martyuchenko <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> A.A. Mitusov <i>Doc. Eng., Prof. (Kazakhstan)</i> V.V. Nordin <i>Can. Eng. (Russia)</i> O. Prentkovskis <i>Doc. Eng., Prof. (Lithuania)</i> P. Pribyl <i>Doc. Eng., Prof. (Czech Republic)</i> A.E. Pushkarev <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> A.N. Rementsov <i>Doc. Edc., Prof. (Russia)</i> V.I. Sarbaev <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> L.A. Sivachenko <i>Doc. Eng., Prof. (Belarus)</i> D.A. Yungmeister <i>Doc. Eng., Prof. (Russia)</i> A. Szarata <i>Ph.D., Doc. Sc., Prof. (Poland)</i></p> <p><i>Person in charge for publication:</i> I.V. Akimochkina</p> <p><i>Editorial Board Address:</i> 302030, Russia, Orel, Orel Region, Moskovskaya str., 77 Tel. +7 (905)8566556 https://oreluniver.ru/science/journal/mtitm E-mail: srmostu@mail.ru</p> <p>The journal is registered in Federal Agency of supervision in sphere of communication, information technology and mass communications. Registration Certificate ПИ № ФС77-67027 of August 30 2016</p> <p>Subscription index: 16376 in a union catalog «The Press of Russia» on sites www.pressa-ru.ru и www.akc/ru</p> <p>© Registration. Orel State University, 2023</p>	<h2>Contents</h2> <p>Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference «Information Technologies and Innovations in Transport»</p> <p><i>Operation, Repair, Restoration</i></p> <p>A.A. Tumanov, S.N. Bondarenko, S.A. Gnezdilova Investigation of the impact of repair «windows» on the performance of operational performance indicators 3</p> <p>N.A. Zemlyanushnov, S.Y. Radchenko, D.O. Dorohov, N.Y. Zemlyanushnova To the impact assessment of valve springs restoring elasticity on automotive engines performance 10</p> <p>V.N. Sidorov, Tint Naing Win, V.M. Alakin athemtical modeling of the process of a combined lever and electromagnetic system of lateral stabilization 18</p> <p>A.A. Polshin, N.S. Lubimyi, I.V. Semenov, A.K. Maltsev Modern methods in the repair and restoration of machine parts to improve the efficiency of the transport and road complex 26</p> <p><i>Technological machines</i></p> <p>A.A. Matashnev, D.A. Chudakov, A.M. Klimovich, V.V. Bulychev Development of an autonomous abrasive blasting machine based on the MAZ-6501 chassis 40</p> <p><i>Road safety and road transport</i></p> <p>A.G. Loktionova, A.G. Shevtsova, E.V. Kopylova, N.A. Shchetinin Investigation of the heterogeneity of dynamic indicators of passenger cars to improve the efficiency of urban transport systems 47</p> <p>T.B. Bryanskikh Methodology of organization of parking of cars for individual use of residents of multi-storey residential buildings 53</p> <p>E.A. Chebotareva Simulation of the elements of professional intuition in human-machine systems for solving the problems of operational management of railway transport 61</p> <p>L.E. Kushchenko, A.S. Kambur Features of accident analysis involving pedestrians on the territory of the Belgorod region 70</p> <p>U.A. Yakusheva, A.N. Novikov, A.G. Shevtsova Promising methods of improving the quality of passenger service at train station complexes 77</p> <p>V.N. Baskov, A.V. Ignatov, A.A. Nevolin Improving the safety of motor vehicle operation, taking into account driver reliability indicators 83</p> <p>Jin Ziming Application of data analysis in ensuring road safety in the people's republic of China 90</p> <p>K.I. Sarkisova, N.V. Chernykh Methodology development for evaluating the effectiveness of the public transit bus stops functioning 98</p> <p>I.D. Beshentsev, A.I. Belyaev Formation of the first stage of the plan for the restoration of the tram system of St. Petersburg: identification of key goals and objectives 107</p> <p><i>Ecological Problems</i></p> <p>S.V. Korneev, V.D. Bakulina, S.V. Pashukevich The influence of pollution on the quality indicators of mineral engine oil 117</p> <p><i>Education and Personnel</i></p> <p>S.I. Koryagin, A.V. Babkin, I.V. Liberman, P.M. Klachek Industry 5.0: creation of intelligent transport cyber-social ecosystems 123</p> <p><i>Economics and Management</i></p> <p>I.M. Mikhnevich Comparison of methods for assessing the sustainable urban development after the implementation of bus rapid transit systems (BRTS) 131</p>
--	---

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

Научная статья

УДК 656.21

doi:10.33979/2073-7432-2023-3-4(82)-3-9

А.А. ТУМАНОВ, С.Н. БОНДАРЕНКО, С.А. ГНЕЗДИЛОВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЕ РЕМОНТНЫХ «ОКОН» НА ВЫПОЛНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

***Аннотация.** Ежегодно железные дороги несут колоссальные потери, связанные с ограничением скорости движения поездов, а также авариями, происходящими за счет неудовлетворительного технического состояния пути. Для исключения вышеперечисленных потерь необходимо своевременно проводить ремонтно-путевые работы участков пути. Правильная организация путевых работ играет определяющую роль в выполнении показателей эксплуатационной работы железнодорожной инфраструктуры. В статье рассматривается влияние ремонтных «окон» на выполнение показателей эксплуатационной работы на примере участка Куровская – Черусти Московской железной дороги.*

***Ключевые слова:** ремонтное окно, ремонтно-путевые работы, полигон, количественные показатели, качественные показатели, нормативный график*

Введение

Одним из основополагающих звеньев транспортного комплекса нашей страны является железнодорожный транспорт объем перевозок грузов и пассажиров по которому составляет свыше 50 % [1]. Железнодорожная сеть призвана обеспечивать качественное, безопасное и своевременное сообщение, как во внутреннем, так и в международном сообщении. Движение поездов строго по графику достигается точным выполнением технологического процесса работы станций, локомотивных и вагонных депо, тяговых подстанций, пунктов технического обслуживания, дистанции пути и других подразделений ОАО «РЖД». Для того, чтобы железнодорожный транспорт работал бесперебойно, согласно графику движения, необходимо содержать его в исправном состоянии согласно нормативно-технической документации, утвержденной ОАО «РЖД» [2-5].

В последние годы грузооборот железных дорог России постоянно возрастает. Унифицированная длина грузового поезда 72 вагона и средний вес каждого круженного вагона составляет около 80 тонн. И в связи с такими колоссальными нагрузками состояние пути очень сильно ухудшается, что ведет к необходимости проведения различных видов ремонтно-путевых работ [6-9].

С течением времени могут возникнуть нестандартные ситуации, такие как «Толчок в пути» или срабатывание устройств УКСПС (устройство контроля схода подвижного состава) [10-12]. Чтобы этого избежать проводят плановые работы по замене рельсошпальной решетки, иногда выполняют одиночную замену рельса (при различных появлениях дефектов рельс). Замена рельса или всей рельсошпальной решетки предполагает предоставление «окна» на пути перегона с закрытием для движения всех поездов, вследствие чего возникает вопрос организации круглогодичного регулярного движения особенно в период летних путевых работ [13-16].

В связи с увеличением грузооборота, увеличивается и объем поездопотоков, что приводит к увеличению общего количества «окон» и удорожанию работ. Что в свою очередь приводит к снижению качества обслуживания операторов, независимых перевозчиков и конечных потребителей.

На сегодняшний день, с учетом новой системы управления железнодорожного транспорта рациональные варианты организации движения необходимо разрабатывать с учетом позиции дирекции управления движением, которая рассматривает вариативные графики

пропусков поездов при производстве ремонтно-путевых работ и дирекции инфраструктуры, которая осуществляет планирование данных работ. При планировании работ в «окно» на участке необходимо обеспечить: план перевозок пассажиров и грузов, безопасность движения поездов, наиболее эффективное использование пропускной способности участков и перерабатывающей способности станций, высокопроизводительное использование подвижного состава, соблюдение установленной продолжительности непрерывной работы локомотивных бригад [17-20].

Время «окон» для производства ремонтно-путевых работ зависит как от вида самой работы, так и протяженности фронта работы и требований, предъявляемых к ремонтным работам [13].

Ремонтно-путевые работы и затраты на его реализацию являются неотъемлемой частью деятельности железных дорог для обеспечения безопасности следования пассажирских и грузовых поездов [6].

Одним из приоритетных направлений работы на железной дороге является снижение потерь на всех этапах перевозочного процесса, в том числе и во время предоставления «окон» [13]. «Окно» является оптимальным, если затраты на производство ремонтно-путевых работ и потери в эксплуатационной работе пути будут минимальными.

Добиться минимальных потерь при проведении «окна» можно при грамотной организации пропуска поездов, при которой необходимо оптимизировать размещение, время продолжительности и очередность предоставления «окон» на дороге при безусловно необходимом, но минимальном их количестве [21]. Работниками службы движения решаются задачи определения рационального пропуск плановых вагонопотоков с высокими показателями эксплуатационной работы по участку в обоих направлениях движения [22].

Цель работы – исследовать влияние ремонтных «окон» на выполнение показателей эксплуатационной работы на примере участка Куровская-Черусти Московской железной дороги.

Материал и методы

В данной работе рассматривается участок Куровская-Черусти Московской железной дороги, который является одним из самых грузонапряженных на всей сети железных дорог страны. Ежедневно на него поступают поезда с восточной части России через Горьковскую железную дорогу и поезда с Московской дороги, следующие на Восток. Объемы перевозок на участке невозможно переоценить, вследствие чего рельсошпальная решетка подвергается износу гораздо чаще чем на любом другом участке сети. Необходимо рассмотреть характеристики основных станций участка, которые включают в себя количественные показатели работы станции, а также качественные показатели. В результате этого анализа выявляются основные недостатки и определяются перспективы развития станции. На основе этих показателей проводится анализ работы всей станции. В данной статье рассчитываем качественные показатели графика движения поездов: техническую и участковую скорости и коэффициент участковой скорости по пяти схемам закрытия перегона. Где техническая скорость – это скорость движения поезда по перегону в условиях, когда все светофоры на перегоне работают в обычном режиме. Участковая скорость – средняя скорость поезда между соседними стрелками на перегонах, при условии, что все светофоры в районе перегона работают в нормальном рабочем режиме.

Участковая скорость для каждого участка определяется по формуле:

$$V_{уч} = \frac{\sum NL}{\sum NT_{уч}}$$

Техническая скорость определяется по формуле:

$$V_{тех} = \frac{\sum NL}{\sum NT_{движ}}$$

где $\sum NL$ – суммарные поезда - км по каждому участку в четном и нечетном направлениях;

$\sum NT_{уч}$ – суммарные поезда - часы в пути следования по участку в четном и нечетном направлениях.

Качество разработки графика определяется коэффициентом скоростей:

$$\beta = \frac{V_{уч}}{V_{тех}}$$

Теория / Расчет

Рассматриваемый участок имеет свои особенности отличительные от остальных. На участке Куровская – Черусти находится стыковая станция Черусти с Горьковской Железной дорогой, что затрудняет организацию движения между работниками службы Д в особенности поездных диспетчеров рисунок 1. Основные станции полигона Куровская – Черусти их характер работ и класс приведены в таблице 1.



Рисунок 1 - Схема участка Московской железной дороги Куровская – Черусти

Таблица 1 – Основные станции полигона Куровская – Черусти

Название станции	Характер работ	Класс станции
Куровская	Участковая	I
Авсюнино	Промежуточная	IV
Шатура	Промежуточная	III
Кривандино	Участковая	III
Черусти	Промежуточная	III

Так же станция Куровская есть ничто иное как «Бутылочное горлышко» (рисунок 2) поезда с трех направлений Московской Железной дороги сливаются в одно и двигаются по одному главному пути для сдачи на Горьковскую Железную дорогу. И вследствие малейшего просчета в организации предоставления «окна», оно может парализовать все крупнейшие станции Московской железной дороги, такие как Перово (1 класс), Люблино (внеклассная), Орехово-Зуево (внеклассная), Бекасово (внеклассная). Протяженность и размеры движения на участке Куровская – Черусти приведена в таблице 2.

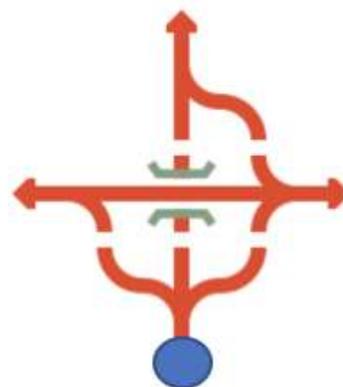


Рисунок 2 – Схема станции Куровская

Таблица 2 – Протяженность и размеры движения на участке Куровская-Черусти

№ п/п	Участок	Протяжённость, км	Размеры движения, пар		
			Пасс.	Приг.	Груз.
1	Куровская – Авсюнино	12.0	17/18	24/24	60/60
2	Авсюнино – Шатура	26.2	17/18	24/24	60/60
3	Шатура – Кривандино	10.4	17/18	15/15	60/60
4	Кривандино – Черусти	20.8	17/18	15/15	60/60



Рисунок 3 – Схема вагонопотоков и поездопотоков на стыковой ст. Черусти

Разработаны вариативные схемы закрытия перегона для предоставления «окна» большой продолжительности (пять вариантов) и оценено качество их разработки по коэффициенту скорости. В первом варианте (рис. 4) независимо от протяженности и расположения фронта ремонтно-путевых работ главный путь закрывается на всем межстанционном перегоне. Рассматриваемый вариант целесообразнее применять на перегонах сравнительно малой длины.

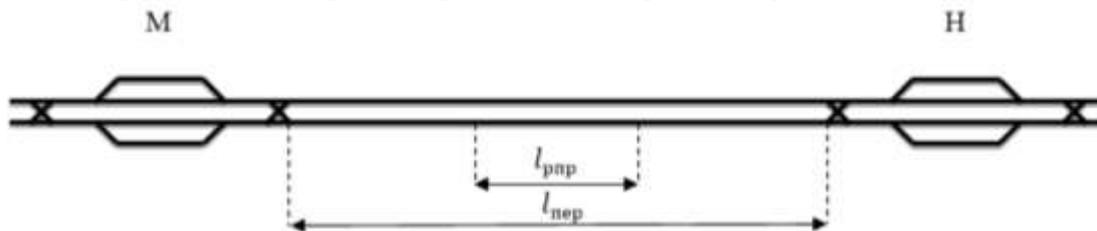


Рисунок 4 – Вариант 1

Во втором и третьем вариантах (рис. 5, 6) главный путь закрывается не на всем пути перегона, а нежеле, его части, прилегающие к обгонному пункту. В таких случаях необходимо устройство временного путевого поста (БП-пост безопасности) для осуществления переводов поездов с одного главного пути на другой. Такие варианты могут применяться на перегонах большой протяженности, когда ФРП расположен в непосредственной близости от самого раздельного пункта.

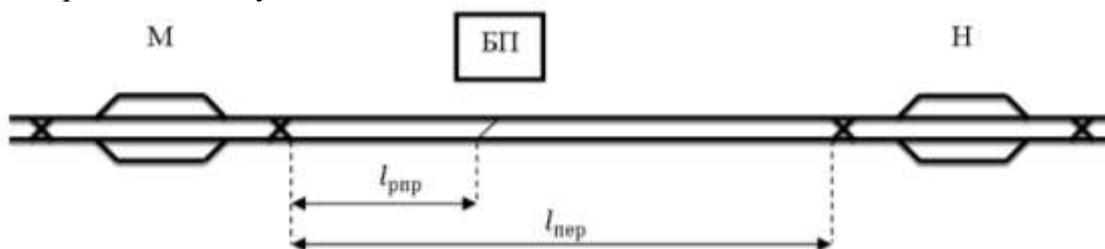


Рисунок 5 – Вариант 2

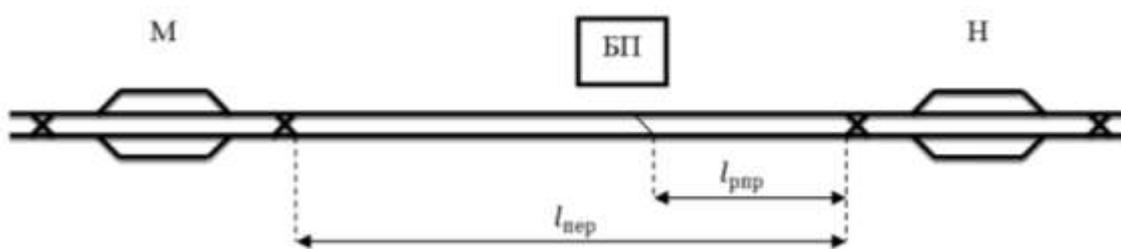


Рисунок 6 – Вариант 3

В четвертом варианте (рис. 7) главный путь закрывается не на всем перегоне, а на его части с устройством двух. Применение данного варианта целесообразно на перегонах большой протяженности, когда ФРП расположен в центре межстанционного пути перегона.

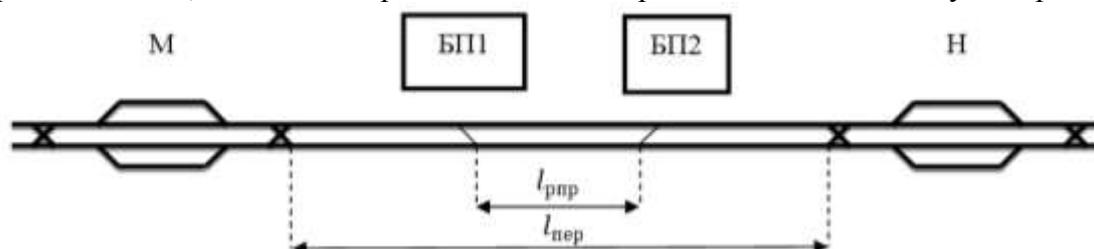


Рисунок 7 – Вариант 4

Пятый вариант – это установка двухстороннего поста безопасности (БП) с разбиением перегона на две части, для увлечения пропускной способности участка. Данный тип устанавливается, когда фронт производства работ располагается вдоль всего перегона и есть возможность проводить работы отдельно на заданных участках. В данном случае на каждом участке устанавливается отдельный пост, который имеет три отдельных направления движения поездов: одно в сторону перегона, другое – в обратную сторону и третье – в направлении, совпадающем с линией фронта производства работ.

При устройстве БП и их демонтажу «окна» предоставляются с закрытием главного пути.

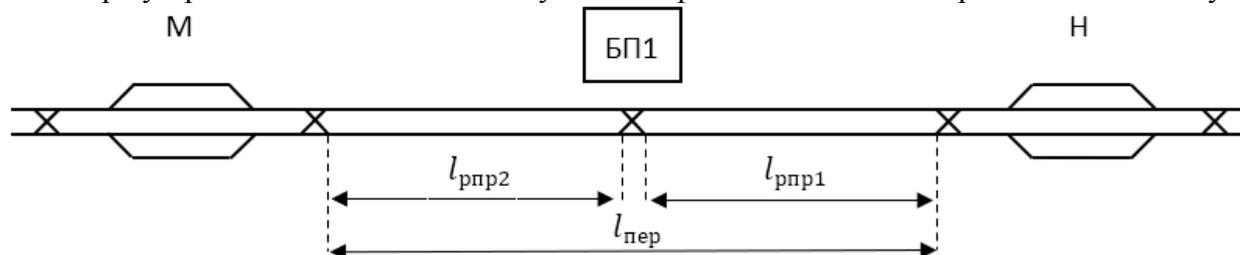


Рисунок 8 – Вариант 5

Таблица 3 – Результаты вариативной разработки закрытия перегона при предоставлении «окна» большой продолжительности

Вариант	Участковая скорость, км/ч		Техническая скорость, км/ч	Качество разработки графика
	По нормативному графику	По вариантному графику		
1	65	61,35	64,14	0,96
2	65	61,4	64,25	0,96
3	65	63,28	64,68	0,98
4	65	63,3	65,56	0,97
5	65	63,28	64,68	0,98

Из таблицы видно, что все разрабатываемые варианты схем закрытия перегона для предоставления «окна» большой продолжительности достаточно эффективны. Наиболее предпочтительными являются 3 и 5 вариант.

Выводы

При проведении ремонтно-путевых работ на участке Куровская – Черусти для выполнения показателей эксплуатационной работы наиболее эффективной схемой закрытия перегона для осуществления ремонтных «окон» является пропуск поездов по временно однопутному перегону пакетным способом, которые формируются на подходе к ограничивающему перегону или на технических станциях железнодорожного участка.

Благодарности

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голиусов А.С., Гридчин А.М., Логвиненко А.А. Перспективы развития сети железных дорог в Российской Федерации // Инновационные материалы, технологии и оборудование для строительства современных транспортных сооружений. - Том 2. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2013. – С. 91-95.
2. Об утверждении Правил технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации: Приказ Минтранса РФ от 21 декабря 2010 г. №286 (с изменениями и дополнениями).
3. Инструкция по обеспечению безопасности движения поездов при производстве путевых работ; Утв. расп. ОАО «РЖД» №790р от 29 декабря 2012 г.
4. Правила и технология выполнения основных работ при текущем содержании пути. ЦПТ-52; Утв. расп. ОАО «РЖД» 30 июня 1997 г.
5. Технические требования к служебным проходам по территориям железнодорожных станций и других структурных подразделений ОАО «РЖД»: Распоряжение о вводе в действие №2667р от 24 декабря 2012 г.
6. Осьминин А.Т., Сотников Е.А., Осьминин М.А. Методические основы организации ремонтно-путевых работ при длительных закрытиях перегонов с их предоставлением по технологии «в створе» // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2017. – Т. 76. - №1. – С. 25-30.
7. Ререр А.А. Прогрессивные технологии ремонта инфраструктуры // Железнодорожный транспорт. – 2014. – №2. – С. 62-65.

8. Богданович В.А. Планово-предупредительная выправка пути на Октябрьской дороге на службе путевому хозяйству // Путь и путевое хозяйство. – 2007. – №1. – С. 1-5.
9. Масальгина Д.А. Прогрессивная технология проведения капитального ремонта пути // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова: Материалы конференции. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2021. – С. 2153-2156.
10. Типовые проектные решения. Узвка БМРЦ с различными устройствами. МРЦ-15-80.
11. Гришов А.И. Особенности ремонта пути в режиме «закрытого перегона» // Путь и путевое хозяйство. – 2015. – №2. – С. 2-4.
12. Горшков В.В. В режиме длительного закрытия перегонов. Использовать «окна» максимально эффективно // Железнодорожный транспорт. – 2016. – №5. – С. 36-38.
13. О порядке предоставления и использования «окон» для ремонтных и строительно-монтажных работ на железных дорогах ОАО «РЖД»: Инструкция; Утв. расп. №3154р от 25.12.2014 г.
14. Кутумов В.М., Романова П.Б., Муковнина Н.А. Проблемы организации продолжительных «окон» // Вестник СамГУПС. – 2009. – №6-2. – С. 132а-134.
15. Музыкин М.И., Нестеренко Г.И. Влияние «окон» на пропускную способность железнодорожного направления // Наука прогресс транспорту. – 2014. – №3(51). – С. 24-33.
16. Парамонова Н.В. Рациональная технология пропуска поездов во время «окна» для проведения ремонтно-строительных работ: Дис. ... канд. техн. наук. – Москва, 2007. – 178 с.
17. Буракова А.В., Иванкова Л.Н., Иванков А.Н. Оценка особенностей работы станций при проведении реконструктивных мероприятий // Транспорт: наука, образование, производство (транспорт-2021): Труды международной научно-практической конференции. – Воронеж: филиал ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения». – 2021. – С. 26-28.
18. Буракова А.В. Снижаем простой вагонов на станции - повышаем качество перевозочного процесса // Актуальные проблемы железнодорожного транспорта: Сборник статей научной конференции. – Воронеж: филиал ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения». – 2018. – С. 11-14.
19. Бондаренко С.Н. Анализ рабочего дня мастера дорожного посредством методологии Шесть сигм // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова: Материалы конференции. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2021. – С. 1898-1903.
20. Шатохин А.А., Харитонов А.В., Биленко Г.М., Буракова А.В. Анализ проблемы неравномерности прибытия вагонопотоков на технические станции // Железнодорожный транспорт. – 2019. – №4. – С. 20-23.
21. Ермолин А.А. Влияние путевых работ на эксплуатационные показатели // Труды 80-й студенческой научно-практической конференции РГУПС. – Ч. 2. – Воронеж: филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения». – 2021. – С. 49-51.
22. Бондаренко С.Н., Масальгина Д.А. Изменение подхода к оценке состояния рельсовой колеи путевыми измерительными средствами // Образование. Наука. Производство: XIII Международный молодежный форум. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2021. – С. 1021-1026.

Туманов Андрей Андреевич

Российский университет транспорта (МИИТ)
Адрес: 127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, 9
Аспирант
E-mail: miit.tumanov@yandex.ru

Бондаренко Светлана Николаевна

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, 46
Старший преподаватель кафедры «Автомобильные и железные дороги»
E-mail: sveta-zolotykh@yandex.ru

Гнездилова Светлана Александровна

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, 46
К.т.н., доцент кафедры «Автомобильные и железные дороги»
E-mail: gnezdilka@yandex.ru

A.A. TUMANOV, S.N. BONDARENKO, S.A. GNEZDILOVA

INVESTIGATION OF THE IMPACT OF REPAIR «WINDOWS» ON THE PERFORMANCE OF OPERATIONAL PERFORMANCE INDICATORS

Abstract. Every year, railways suffer enormous losses associated with the limitation of the speed of trains, as well as accidents that happen due to the unsatisfactory technical condition of the track. In order to exclude the above losses, it is necessary to carry out repair and track work on the sections of the track in a timely manner. The correct organization of track works plays a decisive role in the performance of indicators of the operational work of the railway infrastructure. The article examines the impact of repair «windows» on the performance of operational performance indicators on the example of the Kurovskaya – Cherusti section of the Moscow Railway.

Keywords: *repair window, repair and construction works, landfill, quantitative indicators, qualitative indicators, regulatory schedule*

BIBLIOGRAPHY

1. Goliusov A.S., Gridchin A.M., Logvinenko A.A. Perspektivy razvitiya seti zheleznykh dorog v Rossiyskoy Federatsii // Innovatsionnye materialy, tekhnologii i oborudovanie dlya stroitel'stva sovremennykh transportnykh sooruzheniy. - Tom 2. - Belgorod: BGTU im. V.G. Shukhova. - 2013. - S. 91-95.
2. Ob utverzhenii Pravil tekhnicheskoy ekspluatatsii zheleznykh dorog Rossiyskoy Federatsii: Prikaz Mintransa RF ot 21 dekabrya 2010 g. №286 (s izmeneniyami i dopolneniyami).
3. Instruksiya po obespecheniyu bezopasnosti dvizheniya poezdov pri proizvodstve putevykh rabot; Utv. rasp. OAO «RZHD» №790r ot 29 dekabrya 2012 g.
4. Pravila i tekhnologiya vypolneniya osnovnykh rabot pri tekushchem soderzhanii puti. TSPT-52; Utv. rasp. OAO «RZHD» 30 iyunya 1997 g.
5. Tekhnicheskikh trebovaniy k sluzhebnykh prokhodam po territoriyam zheleznodorozhnykh stantsii i drugikh strukturnykh podrazdeleniy OAO «RZHD»: Rasporyazhenie o vvode v deystvie №2667r ot 24 dekabrya 2012 g.
6. Os'minin A.T., Sotnikov E.A., Os'minin M.A. Metodicheskie osnovy organizatsii remontno-putevykh rabot pri dlitel'nykh zakrytiyakh peregonov s ikh predostavleniem po tekhnologii «v stvore» // Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta. - 2017. - T. 76. - №1. - S. 25-30.
7. Reger A.A. Progressivnye tekhnologii remonta infrastruktury // Zheleznodorozhnyy transport. - 2014. - №2. - S. 62-65.
8. Bogdanovich V.A. Planovo-predupreditel'naya vypravka puti na Oktyabr'skoy doroge na sluzhbe putevomu khozyaystvu // Put' i putevoe khozyaystvo. - 2007. - №1. - S. 1-5.
9. Masalytina D.A. Progressivnaya tekhnologiya provedeniya kapital'nogo remonta puti // Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya molodykh uchenykh BGTU im. V.G. Shukhova: Materialy konferentsii. - Belgorod: BGTU im. V.G. Shukhova, 2021. - S. 2153-2156.
10. Tipovye proektnye resheniya. Uvyazka BMRTS s razlichnymi ustroystvami. MRTS-15-80.
11. Grishov A.I. Osobennosti remonta puti v rezhime «zakrytogo pereгона» // Put' i putevoe khozyaystvo. - 2015. - №2. - S. 2-4.
12. Gorshkov V.V. V rezhime dlitel'nogo zakrytiya peregonov. Ispol'zovat' «okna» maksimal'no effektivno // Zheleznodorozhnyy transport. - 2016. - №5. - S. 36-38.
13. O poryadke predostavleniya i ispol'zovaniya «okon» dlya remontnykh i stroitel'no-montazhnykh rabot na zheleznykh dorogakh OAO «RZHD»: Instruksiya; Utv. rasp. №3154r ot 25.12.2014 g.
14. Kutumov V.M., Romanova P.B., Mukovnina N.A. Problemy organizatsii prodolzhitel'nykh «okon» // Vestnik SamGUPS. - 2009. - №6-2. - S. 132a-134.
15. Muzykin M.I., Nesterenko G.I. Vliyaniye «okon» na propusknyuyu sposobnost' zheleznodorozhnogo napravleniya // Nauka progress transportu. - 2014. - №3(51). - S. 24-33.
16. Paramonova N.V. Ratsional'naya tekhnologiya propuska poezdov vo vremya «okna» dlya provedeniya remontno-stroitel'nykh rabot: Dis. ... kand. tekhn. nauk. - Moskva, 2007. - 178 s.
17. Burakova A.V., Ivankova L.N., Ivankov A.N. Otsenka osobennostey raboty stantsiy pri provedenii rekonstruktivnykh meropriyatiy // Transport: nauka, obrazovanie, proizvodstvo (transport-2021): Trudy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Voronezh: filial FGBOU VO «Rostovskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya». - 2021. - S. 26-28.
18. Burakova A.V. Snizhaem prostoy vagonov na stantsii - povyshаем kachestvo perevozhnogo protsessа // Aktual'nye problemy zheleznodorozhnogo transporta: Sbornik statey nauchnoy konferentsii. - Voronezh: filial FGBOU VO «Rostovskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya». - 2018. - S. 11-14.
19. Bondarenko S.N. Analiz rabochego dnya mastera dorozhnogo posredstvom metodologii Shest' sigm // Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya molodykh uchenykh BGTU im. V.G. Shukhova: Materialy konferentsii. - Belgorod: BGTU im. V.G. Shukhova, 2021. - S. 1898-1903.
20. Shatokhin A.A., Haritonov A.V., Bilenko G.M., Burakova A.V. Analiz problemy neravnomernosti pribytiya vagonopotokov na tekhnicheskie stantsii // Zheleznodorozhnyy transport. - 2019. - №4. - S. 20-23.
21. Ermolin A.A. Vliyaniye putevykh rabot na ekspluatatsionnye pokazateli // Trudy 80-y studencheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii RGUPS. - Ch. 2. - Voronezh: filial federal'nogo gosudarstvennogo byudzhethnogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego obrazovaniya «Rostovskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya». - 2021. - S. 49-51.
22. Bondarenko S.N., Masalytina D.A. Izmeneniye podkhoda k otsenke sostoyaniya rel'sovoy kolei puteizmeritel'nymi sredstvami // Obrazovanie. Nauka. Proizvodstvo: XIII Mezhdunarodnyy molodezhnyy forum. - Belgorod: BGTU im. V.G. Shukhova, 2021. - S. 1021-1026.

Tumanov Andrey Andreevich

Russian University of transport
Address: 127994, Russia, Moscow, Obratsova str., 9
Postgraduate student
E-mail: miit.tumanov@yandex.ru

Gnezdilova Svetlana Aleksandrovna

Belgorod state technological university
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46
Candidate of technical science
E-mail: gnezdilka@yandex.ru

Bondarenko Svetlana Nikolaevna

Belgorod state technological university
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46
Senior lecturer
E-mail: sveta-zolotykh@yandex.ru

Н.А. ЗЕМЛЯНУШНОВ, С.Ю. РАДЧЕНКО, Д.О. ДОРОХОВ, Н.Ю. ЗЕМЛЯНУШНОВА

К ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ УПРУГОСТИ КЛАПАННЫХ ПРУЖИН НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

***Аннотация.** Представлены технологии восстановления внутренних клапанных пружин автомобилей ВАЗ и результаты их экспериментального обоснования. По результатам известных экспериментальных исследований установлена зависимость характеризующая влияние потери упругости клапанных пружин на номинальную эффективную мощность двигателя. Оценено влияние разработанных технологий на скорость падения номинальной эффективной мощности двигателя по причине релаксации пружин ГРМ.*

***Ключевые слова:** клапанные пружины, восстановление пружин, номинальная эффективная мощность, двигатель*

Введение

В устройство автомобилей входят узлы, агрегаты и системы, состоящие из отдельных деталей, которые в процессе работы автомобилей испытывают различные нагрузки, и их эксплуатационные характеристики снижаются, тем самым снижая эффективность эксплуатации автомобиля в целом [1, 2, 5, 11, 17, 21-23].

Одной из систем автомобильного двигателя является газораспределительный механизм (ГРМ). В конструкцию ГРМ входят клапанные пружины, которые должны обеспечить плотную посадку клапана в седле и удержание его в закрытом положении в течение требуемого периода движения толкателя, а также постоянную кинематическую связь между клапаном, толкателем и кулачком [7]. На обеспечение этих условий прямое влияние оказывают силы развиваемые пружинами клапанов. При расчете пружин клапанов конструкторы стремятся обеспечить превосходство минимальных сил, развиваемых пружинами, над силами, развиваемыми давлением газов во впускных/выпускных трубопроводах и в цилиндрах, а также приведенными к клапану силами инерции.

Актуальность

При эксплуатации под действием циклических нагрузок и высоких температур клапанные пружины со временем теряют свою первоначальную упругость [2]. Это приводит к ухудшению эксплуатационных характеристик двигателя (особенно при высокоскоростных режимах) таких как: расход топлива и масла, ухудшение динамических качеств, ухудшение экологических показателей и т.п.

Решать данную проблему можно путем изначальной установки более качественных клапанных пружин, например за счёт применения более дорогих марок стали или более совершенных технологий изготовления, требующих применения дорогого и, как правило, импортного оборудования [4, 10, 12-14, 18]. Известно, что восстановление ресурса дорогостоящих деталей часто является более эффективным решением по сравнению с заменой деталей новыми [8, 9, 15, 16]. Поэтому в данном случае более рациональный путь – восстановление упругости пружин после длительного периода их эксплуатации в двигателе [2, 6].

Материал и методы

В работе [3] представлены технологии (табл. 1) восстановления внутренних клапанных пружин автомобилей ВАЗ (рис. 1) и результаты их экспериментального обоснования (рис. 2-4).

На машиностроительном предприятии АО «БелЗАН» были отобраны три партии пружин клапанов (марка стали VDSiCr, EN 10270-2) [19]. Затем пружины прошли испытания на стойкость к циклическим нагрузкам на стенде СБН 0121 № 004 (6×10^6 циклов согласно требованиям чертежа). Далее пружины, прошедшие испытание, растянуты и восстановлены по предлагаемым технологиям. При восстановлении у всех партий пружин увеличились сило-

вые характеристики. Далее исследуемые пружины были подвергнуты испытаниям на $10,5 \times 10^6$ циклов. Все пружины выдержали испытания без поломок и недопустимых осадок. Результаты контроля рабочих нагрузок до испытания, после испытания 6×10^6 циклов, после восстановления и после повторного испытания $10,5 \times 10^6$ циклов показаны на рисунках 2-4.

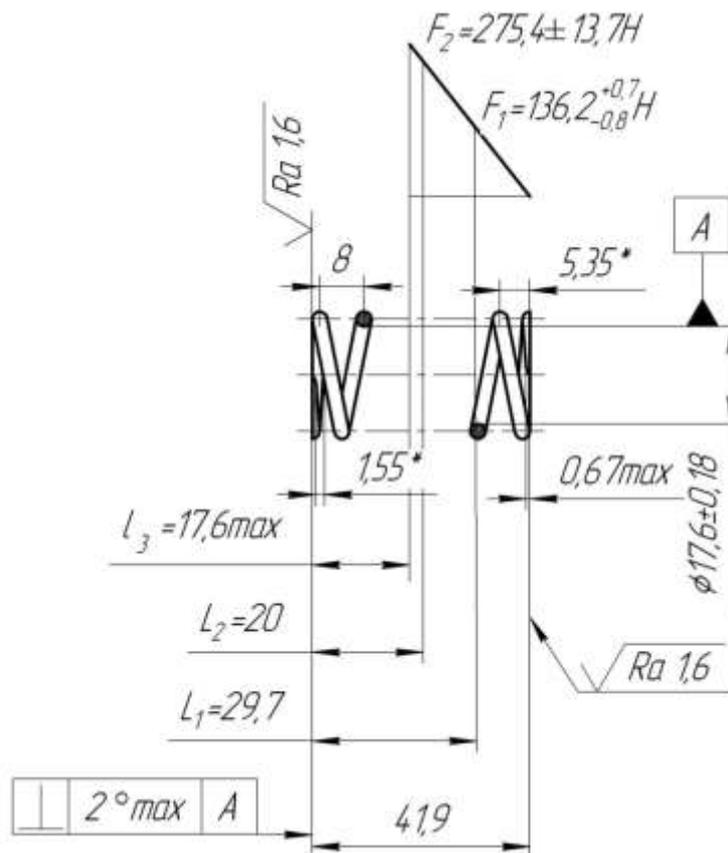


Рисунок 1 - Пружина клапана внутренняя 2101-1007021:

F_1 и F_2 – нагрузка соответственно предварительного поджатия и рабочая, Н; l_1 , l_2 , l_3 – высота пружины соответственно при предварительном поджатии, при рабочей нагрузке и при сжатии до соприкосновения витков, мм; высота в свободном состоянии $l_0 = 41,9$ мм (справочный размер)

Таблица 1 - Варианты технологий восстановления силовых параметров пружин 2101-1007021

№ п/п	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
1	Контроль параметров: $l_2 = 20$ мм, $F_2 = 275,4 \pm 13,7$ Н		
2	Испытания на выносливость циклическим нагрузкам от l_0 до l_2 (6×10^6 циклов)		
3	Промывка (обезжиривание)		
4	Контроль параметров: $l_2 = 20$ мм, $F_2 = 275,4 \pm 13,7$ Н		
5	Нагрев на оправке до температуры $T = 420^\circ\text{C}$, время нагрева - 15 мин		-
6	Растягивание рабочей части пружины до высоты 45 мм		
7	Отпуск на оправке: $T = 400^\circ\text{C}$, время отпуска 30 мин.		Отпуск на оправке: $T = 420^\circ\text{C}$, время отпуска 40 мин.
8	Контактное заневоливание нагрузкой 3100 Н ($10F_3$)	-	-
9	Отпуск: $T = 400^\circ\text{C}$, время отпуска 30 мин	-	-

№ п/п	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
10	Дробемётная обработка: ДСЛ-0,5		Дробемётная обработка: ДСЛ-0,5
11	Контактное заневоливание нагрузкой 3100 Н ($10F_3$)	Контактное заневоливание нагрузкой 12400 Н ($40F_3$)	-
12	-	-	Отпуск: $T \leq 240$ °С, время отпуска 30 мин
13	-	-	Контактное заневоливание нагрузкой 3100 Н ($10F_3$)
14	Контроль параметров: $l_2 = 20$ мм, $F_2 = 275,4 \pm 13,7$ Н		
15	Испытания на выносливость циклическим нагрузкам от l_0 до l_2 $10,5 \times 10^6$ циклов		
16	Контроль параметров: $l_2 = 20$ мм, $F_2 = 275,4 \pm 13,7$ Н		

Примечание: F_3 – сила сжатия пружины до соприкосновения витков, Н; ДСЛ-0,5 – дробь стальная литейная диаметром 0,5 мм

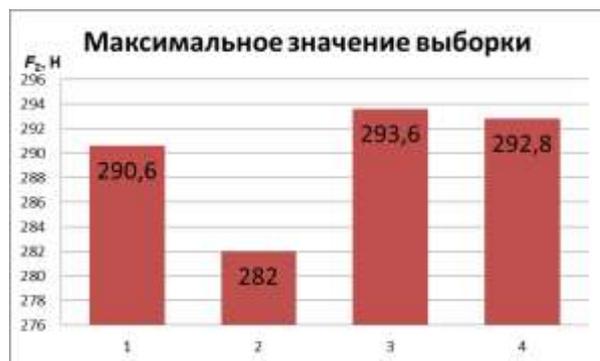
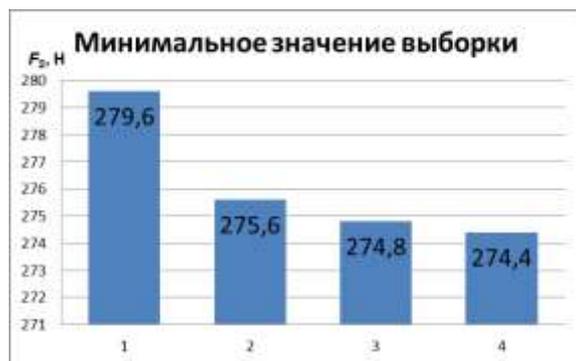
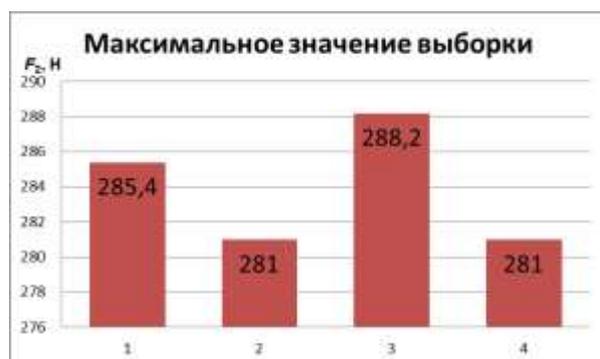
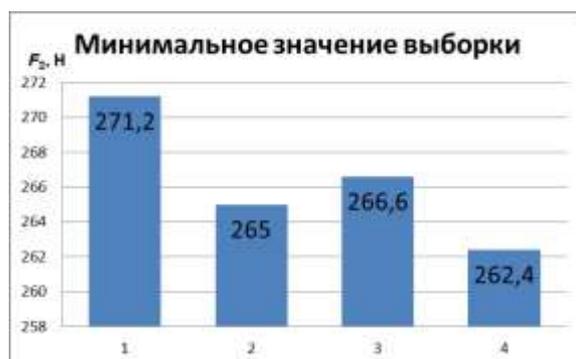


Рисунок 2 - Значение рабочей нагрузки пружин, 1 вариант.

Примечание*: 1 – не испытанные новые пружины; 2 – после испытания 6×10^6 циклов; 3 – после восстановления; 4 – восстановленные пружины после испытания $10,5 \times 10^6$ циклов



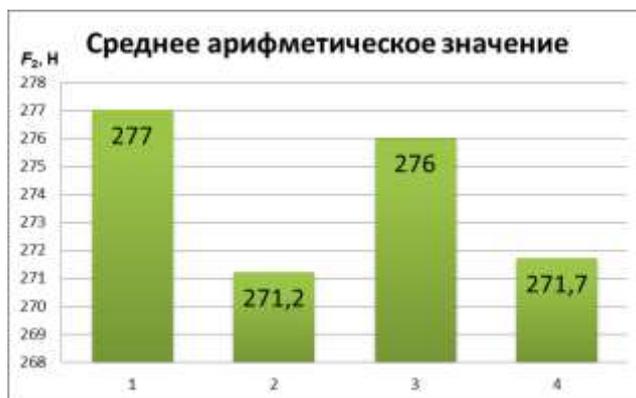


Рисунок 3 - Значение рабочей нагрузки пружин, 2 вариант

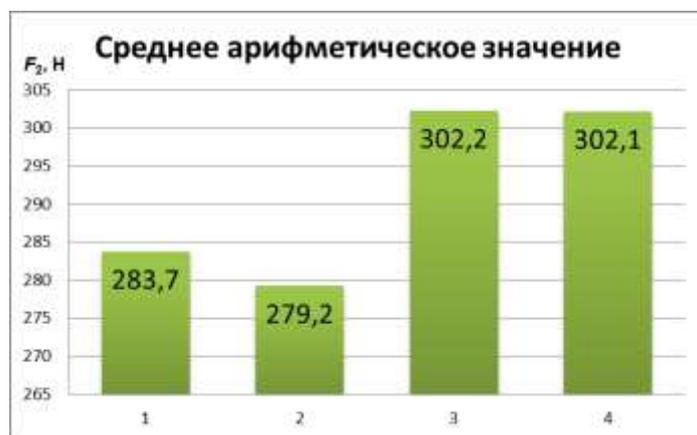
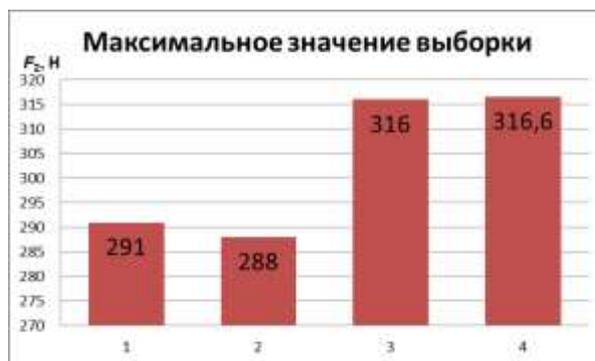
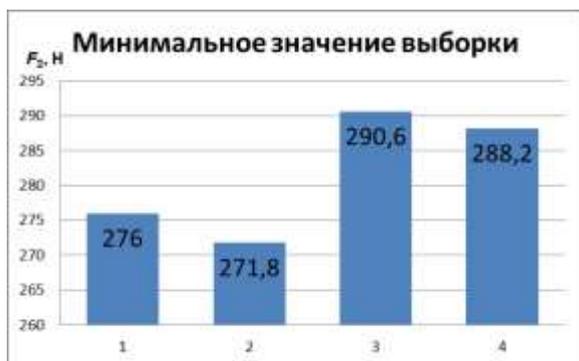


Рисунок 4 - Значение рабочей нагрузки пружин, 3 вариант

Теория

После испытаний новых пружин на стойкость к циклическим нагрузкам в размере 6×10^6 циклов падение рабочей нагрузки в среднем составляет 1,8 %, что не должно оказать существенного влияния на эксплуатационные параметры двигателя при обычных условиях эксплуатации. Однако на высоких скоростях вращения коленчатого вала, такая релаксация клапанных пружин может снизить номинальную мощность и повысить удельный расход топлива.

В работе [20] приведены результаты экспериментальных исследований (табл. 2) номинальной эффективной мощности N двигателя от силы предварительного поджатия F_1 клапанных пружин ГРМ полученные Кагнером Ю.А.

Таблица 2 – Зависимость номинальной эффективной мощности N двигателя от силы предварительного поджатия F_1 клапанных пружин ГРМ

Номер замера	Сила предварительного поджатия клапанных пружин, F_1 , Н	Номинальная эффективная мощность, N , кВт
1	143,0	44,0
2	146,3	45,8

3	150,0	48,0
4	153,5	49,7
5	155,8	50,8
6	160,0	52,8
7	163,5	54,2
8	166,0	55,1
9	170,0	56,0
10	175,3	56,0
11	178,4	55,7
12	180,5	55,3

По результатам таблицы 2 построена эмпирическая зависимость влияния упругости клапанных пружин на номинальную эффективную мощность двигателя (рис. 5), определено уравнение (1), описывающее эту зависимость.

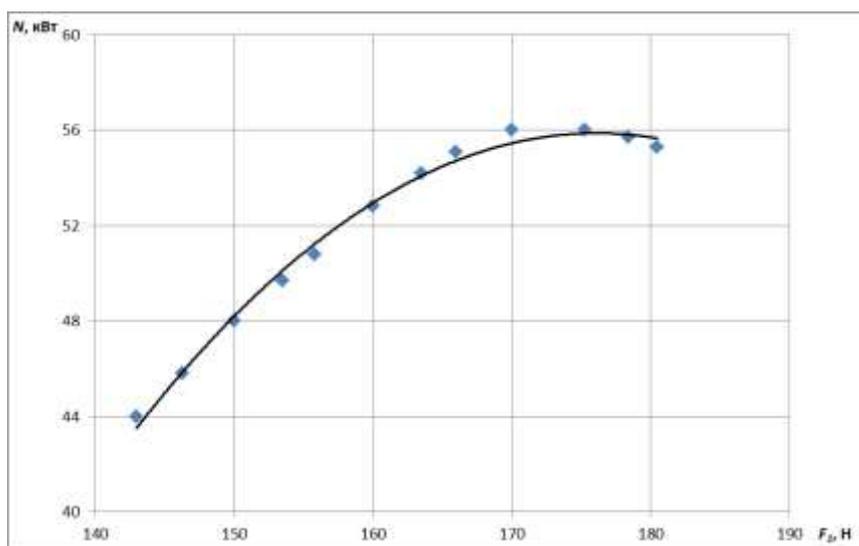


Рисунок 5 - Зависимость влияния упругости клапанных пружин на номинальную эффективную мощность двигателя

$$N = -0,0112 F_1^2 + 3,9623 F_1 - 293,08 \quad (1)$$

Результаты и обсуждение

Установлена зависимость (1), характеризующая влияние потери упругости клапанных пружин на номинальную эффективную мощность двигателя. Так как величины F_1 и F_2 связаны между собой линейно, данная зависимость позволяет оценить влияние падения F_2 на N . Так при снижении F_2 на 1,8 % N снизится на ≈ 1 %. После испытаний восстановленных пружин на стойкость к циклическим нагрузкам в размере $10,5 \times 10^6$ циклов падение рабочей нагрузки в среднем составляет 0,7 %, что согласно (1) приведет к снижению N на $\approx 0,35$ %.

Выводы

Таким образом, с учетом того, что количество циклов при испытании восстановленных пружин относительно испытаний новых пружин увеличено в 1,75 раза, можно прийти к выводу, что применение разработанных технологий восстановления клапанных пружин позволяют снизить скорость падения номинальной эффективной мощности двигателя по причине релаксации пружин ГРМ более чем в 2,5 раза. Кроме того, следует отметить, что при массовом внедрении разработанных технологий на авторемонтные предприятия стоимость восстановления пружин будет значительно ниже относительно стоимости изготовления новых. Также рекомендовано применять контактное заневоливание при изготовлении автомобильных пружин, в том числе клапанных, что повысит эксплуатационные показатели двигателя и автомобиля в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко Е.В., Дрючин Д.А., Булатов С.В. Оценка целесообразности организации входного контроля качества запасных частей в условиях автотранспортного предприятия // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2021. – №2. – С. 71-78.
2. Землянушнов Н.А. К анализу отказов агрегатов и систем автотранспортных средств, вызванных релаксацией автомобильных пружин // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2018. – №10. – С. 81-86.
3. Землянушнов Н.А., Землянушнова Н.Ю. К теоретическому обоснованию восстановления автомобильных пружин из упрочненной проволоки // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2018. – №5. – С. 68-79.
4. Землянушнов Н.А., Землянушнова Н.Ю., Дорохов Д.О. Теоретическое исследование влияния дробемётной обработки на изменение геометрических параметров пружин при контактном заневоливании // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2022. – №6(356). – С. 38-47.
5. Землянушнов Н.А., Землянушнова Н.Ю. Теоретическое исследование влияния дробемётной обработки на осадку пружин подвески автотранспортных средств при восстановлении // Мир транспорта и технологических машин. – 2019. – №3(66). – С. 26-33.
6. Землянушнова Н.Ю., Тебенко Ю.М., Землянушнов Н.А. Восстановление винтовых цилиндрических пружин сжатия. – Ставрополь: АГРУС, 2012. – 88 с.
7. Колчин А.И., Демидов В.П. Расчет автомобильных и тракторных двигателей: Учебное пособие для ВУЗов. - 4-е изд., стереотип. – Москва: Высшая школа, 2008. – 496 с.
8. Корчагин В.А., Сливинский Е.В., Ризаева Ю.Н. Повышение эффективности эксплуатации автотранспортных средств за счёт новой конструкции независимой подвески // Наука и техника транспорта. – 2012. – №1. – С. 75-79.
9. Котомчин А.Н., Синельников А.Ф., Корнейчук Н.И. К вопросу выбора способа восстановления деталей машин // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2020. – Т. 17. - №1(71). – С. 84-97.
10. Крымчанский И.И. Пружинная проволока в мировой и отечественной промышленности // Пружины. – 2016. – №1(1). – С. 19-26.
11. Кушалиев Д.К., Ерманова Б.А., Калимуллин Р.Ф. Совершенствование способа восстановления амортизаторов подвески автомобилей ремонтными комплектами сайлентблоков // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2020. – №4. – С. 150-160.
12. Лавриненко Ю.А. Разработка технологии изготовления высоконагруженных пружин сжатия: дис. ... д-ра техн. наук. – Орел, 2018. – 284 с.
13. Лавриненко Ю.А. Разработка технологии изготовления пружины клапана двигателя легкового автомобиля // Заготовительные производства в машиностроении. - 2017. - Т. 15. - №12. - С. 547-55.
14. Лавриненко Ю.А. Требования к материалам и способы упрочнения пружин клапана двигателей внутреннего сгорания // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2017. – №3(323). – С. 117-124.
15. Ли Р.И., Псарев Д.Н., Быконя А.Н. Улучшение эластомерного нанокompозита при восстановлении корпусных деталей автомобилей после инфракрасной обработки // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – №1(76). – С. 24-30.
16. Новиков А.Н., Стратулат М.П., Севостьянов А.Л. Восстановление и упрочнение деталей автомобилей: Учебное пособие. – Орел: ФГБОУ ВПО «ГУ - УНПК», 2006. – 332 с.
17. Калимуллин Р.Ф., Кулаков А.Т., Арсланов М.А., Меликов С.Э. Обоснование предельного состояния двухдисковых сцеплений грузовых автомобилей и способа его определения // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2022. – № 1. – С. 53-58.
18. Шаврин О.И. Производство высокопрочных винтовых пружин. – Ижевск: ИжГТУ имени М.Т. Калашникова, 2019. – 196 с.
19. Землянушнова Н.Ю., Тебенко Ю.М., Фадеев В.В., Землянушнов Н.А. Экспериментальное обоснование новых технологий восстановления внутренней пружины клапана // Оборонный комплекс - научно-техническому прогрессу России. – 2012. – №1. – С. 10-16.
20. Элькин С.Ю. Разработка технологии восстановления клапанных пружин двигателей мобильной сельскохозяйственной техники с использованием электромеханической обработки: дис. ... канд. техн. наук. – Саратов, 1984. – 198 с.
21. Kong Y.S. et al. Correlation of Uniaxial and Multiaxial Fatigue Models for Automobile Spring Life Assessment // Experimental Techniques. - 2020. Vol. 44(2), pp. 197-215. - DOI: 10.1007/s40799-019-00344-w.
22. Manouchehrynia R., Abdullah S., Singh S. S. K. Fatigue reliability assessment of an automobile coil spring under random strain loads using probabilistic technique // Metals. - 2020. - Vol. 10(1). - №12. – P. 12. - DOI: 10.3390/met10010012.

23. Manouchehrynia R., Abdullah S., Singh S. S. K. Fatigue-based reliability in assessing the failure of an automobile coil spring under random vibration loadings // Engineering Failure Analysis. - 2022. - Vol. 131. – P. 105808. - DOI: 10.1016/j.engfailanal.2021.105808.

Землянушнов Никита Андреевич

Северо-Кавказский федеральный университет
Адрес: 355017, Россия, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1
Старший преподаватель кафедры технологии машиностроения и технологического оборудования
E-mail: nikita3535@mail.ru

Радченко Сергей Юрьевич

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева
Адрес: 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Д.т.н., профессор, проректор по научно-технологической деятельности и аттестации научных кадров
E-mail: radsu@rambler.ru

Дорохов Даниил Олегович

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева
Адрес: 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
Д.т.н., доцент, профессор кафедры машиностроения
E-mail: ddostu@mail.ru

Землянушнова Надежда Юрьевна

Северо-Кавказский федеральный университет
Адрес: 355017, Россия, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1
К.т.н., доцент, заведующий кафедрой технологии машиностроения и технологического оборудования
E-mail: zemlyanushnova@rambler.ru

N.A. ZEMLYANUSHNOV, S.Y. RADCHENKO, D.O. DOROHOV, N.Y. ZEMLYANUSHNOVA

TO THE IMPACT ASSESSMENT OF VALVE SPRINGS RESTORING ELASTICITY ON AUTOMOTIVE ENGINES PERFORMANCE

***Abstract.** Technologies of VAZ cars internal valve springs restoration and results of their experimental substantiation are presented. According to the results of known experimental studies, dependence has been established characterizing the effect of valve springs elasticity loss on the nominal effective engine power. The influence of developed technologies on the rate of fall nominal effective power of engine due to relaxation of the timing springs is estimated.*

***Keywords:** valve springs, spring recovery, rated effective power, engine*

BIBLIOGRAPHY

1. Bondarenko E.V., Dryuchin D.A., Bulatov S.V. Otsenka tselesoobraznosti organizatsii vkhodnogo kontrolya kachestva zapasnykh chastei v usloviyakh avtotransportnogo predpriyatiya // Intellekt. Innovatsii. Investitsii. - 2021. - №2. - S. 71-78.
2. Zemlyanushnov N.A. K analizu otkazov agregatov i sistem avtotransportnykh sredstv, vyzvannykh relaksatsiy avtomobil'nykh pruzhin // Intellekt. Innovatsii. Investitsii. - 2018. - №10. - S. 81-86.
3. Zemlyanushnov N.A., Zemlyanushnova N.Yu. K teoreticheskomu obosnovaniyu vosstanovleniya avtomobil'nykh pruzhin iz uprochnennoy provoloki // Intellekt. Innovatsii. Investitsii. - 2018. - №5. - S. 68-79.
4. Zemlyanushnov N.A., Zemlyanushnova N.Yu., Dorokhov D.O. Teoreticheskoe issledovanie vliyaniya drobniotnoy obrabotki na izmenenie geometricheskikh parametrov pruzhin pri kontaktnom zanevolivanii // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. - 2022. - №6(356). - S. 38-47.
5. Zemlyanushnov N.A., Zemlyanushnova N.Yu. Teoreticheskoe issledovanie vliyaniya drobniotnoy obrabotki na osadku pruzhin podveski avtotransportnykh sredstv pri vosstanovlenii // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2019. - №3(66). - S. 26-33.
6. Zemlyanushnova N.Yu., Tebenko Yu.M., Zemlyanushnov N.A. Vosstanovlenie vintovykh tsilindricheskikh pruzhin szhatiya. - Stavropol': AGRUS, 2012. - 88 s.
7. Kolchin A.I., Demidov V.P. Raschet avtomobil'nykh i traktornykh dvigateley: Uchebnoe posobie dlya VUZov. - 4-e izd., stereotip. - Moskva: Vysshaya shkola, 2008. - 496 s.
8. Korchagin V.A., Slivinskiy E.V., Rizaeva Yu.N. Povyshenie effektivnosti ekspluatatsii avtotransportnykh sredstv za schiot novoy konstruktсии nezavisimoy podveski // Nauka i tekhnika transporta. - 2012. - №1. - S. 75-79.
9. Kotomchin A.N., Sinel'nikov A.F., Korneychuk N.I. K voprosu vybora sposoba vosstanovleniya detaley mashin // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta. - 2020. - T. 17. - №1(71). - S. 84-97.

10. Krymchanskiy I.I. Pruzhinnaya provoloka v mirovoy i otechestvennoy promyshlennosti // Pruzhiny. - 2016. - №1(1). - S. 19-26.
11. Kushaliev D.K., Ermanova B.A., Kalimullin R.F. Sovershenstvovanie sposoba vosstanovleniya amortizatorov podveski avtomobiley remontnymi komplektami saylentblokov // Intellekt. Innovatsii. Investitsii. - 2020. - №4. - S. 150-160.
12. Lavrinenko Yu.A. Razrabotka tekhnologii izgotovleniya vysokonagruzhennykh pruzhin szhatiya: dis. ... d-ra tekhn. nauk. - Orel, 2018. - 284 s.
13. Lavrinenko Yu.A. Razrabotka tekhnologii izgotovleniya pruzhiny klapana dvigatelya legkovogo avtomobilya // Zagotovitel' nye proizvodstva v mashinostroenii. - 2017. - T. 15. - №12. - S. 547-55.
14. Lavrinenko Yu.A. Trebovaniya k materialam i sposoby uprochneniya pruzhin klapana dvigateley vnutrennego sgoraniya // Fundamental' nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. - 2017. - №3(323). - S. 117-124.
15. Li R.I., Psarev D.N., Bykonya A.N. Uluchshenie elastomernogo nanokompozita pri vosstanovlenii korpusnykh detaley avtomobiley posle infrakrasnoy obrabotki // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2022. - №1(76). - S. 24-30.
16. Novikov A.N., Stratulat M.P., Sevost'yanov A.L. Vosstanovlenie i uprochnenie detaley avtomobiley: Uchebnoe posobie. - Orel: FGBOU VPO «GU – UNPK», 2006. - 332 s.
17. Kalimullin R.F., Kulakov A.T., Arslanov M.A., Melikov S.E. Obosnovanie predel'nogo sostoyaniya dvukhdiskovykh stsepleniy gruzovykh avtomobiley i sposoba ego opredeleniya // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. Nauchnyy informatsionnyy sbornik. - 2022. - № 1. - S. 53-58.
18. Shavrin O.I. Proizvodstvo vysokoprochnykh vintovykh pruzhin. - Izhevsk: IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova, 2019. - 196 s.
19. Zemlyanushnova N.Yu., Tebenko Yu.M., Fadeev V.V., Zemlyanushnov N.A. Eksperimental'noe obosnovanie novykh tekhnologiy vosstanovleniya vnutrenney pruzhiny klapana // Oboronnnyy kompleks - nauchno-tekhnicheskomu progressu Rossii. - 2012. - №1. - S. 10-16.
20. El'kin S.Yu. Razrabotka tekhnologii vosstanovleniya klapannykh pruzhin dvigateley mobil'noy sel'skokhozyaystvennoy tekhniki s ispol'zovaniem elektromekhanicheskoy obrabotki: dis. ... kand. tekhn. nauk. - Saratov, 1984. - 198 s.
21. Kong Y.S. et al. Correlation of Uniaxial and Multiaxial Fatigue Models for Automobile Spring Life Assessment // Experimental Techniques. - 2020. Vol. 44(2), pp. 197-215. - DOI: 10.1007/s40799-019-00344-w.
22. Manouchehrynia R., Abdullah S., Singh S. S. K. Fatigue reliability assessment of an automobile coil spring under random strain loads using probabilistic technique // Metals. - 2020. - Vol. 10(1). - №12. - R. 12. - DOI: 10.3390/met10010012.
23. Manouchehrynia R., Abdullah S., Singh S. S. K. Fatigue-based reliability in assessing the failure of an automobile coil spring under random vibration loadings // Engineering Failure Analysis. - 2022. - Vol. 131. - R. 105808. - DOI: 10.1016/j.engfailanal.2021.105808.

Zemlyanushnov Nikita Andreevich

North-Caucasus Federal University
Address: 355017, Russia, Stavropol, Pushkin str., 1
Senior Lecturer
E-mail: nikita3535@mail.ru

Radchenko Sergey Yuryevich

Orel State University
Address: 302020, Russia, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Doctor of technical sciences
E-mail: radsu@rambler.ru

Dorohov Daniil Olegovich

Orel State University
Address: 302020, Russia, Orel, Naugorskoe Shosse, 29
Doctor of technical sciences
E-mail: ddostu@mail.ru

Zemlyanushnova Nadezhda Yurievna

North-Caucasus Federal University
Address: 355017, Russia, Stavropol, Pushkin street, 1
Candidate of technical sciences
E-mail: zemlyanushnova@rambler.ru

Научная статья

УДК 629.351

doi:10.33979/2073-7432-2023-3-4(82)-18-25

В.Н. СИДОРОВ, ТИНТ НАИНГ ВИН, В.М. АЛАКИН

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОМБИНИРОВАННОЙ РЫЧАЖНО-ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ПОПЕРЕЧНОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ

Аннотация. В статье разработаны блок схемы и математические модели процессов рычажно-электромагнитной системы поперечной стабилизации с целью анализа изменение угла крена цельнометаллического фургона ГАЗель NEXT при криволинейном движении с рычажным стабилизатором (без ЭМС) и с использованием системы рычажно-электромагнитной стабилизации (с ЭМС). Приведено моделирование рычажно-электромагнитной системы поперечной стабилизации с ЭМС и без ЭМС в системе Matlab&Simulink. В результате моделирования криволинейного движения была доказана эффективность использования рычажно-электромагнитной системы стабилизации (ЭМС) по сравнению с рычажными стабилизаторами (без ЭМС) на основе сравнения углов крена.

Ключевые слова: поперечная устойчивость автомобиля, поперечные силы, угла крена, электромагнитный стабилизатор, рычажный стабилизатор поперечной устойчивости, блок схемы, математическая модель, моделирование

Введение

Поперечная устойчивость грузовых фургонов при криволинейном движении в значительной степени определяет безопасность движения и сохранность жизни человека [1, 2]. Повышение поперечной устойчивости грузовых и легковых автомобилей от опрокидывания обеспечивают стабилизаторы поперечной устойчивости. Рычажные стабилизаторы поперечной устойчивости имеют существенные недостатки, которые заключаются в снижении хода подвески, диагональном вывешивании колес, вибропередаче, недостаточной плавности хода и отсутствии автоматического управления процессом стабилизации. В последнее время автомобилестроители применяют активные стабилизаторы: гидравлические и электрические, которые обеспечивают более эффективное выравнивание автомобиля при криволинейном движении [3-7] и исключают недостатки рычажных. Так электромеханические стабилизаторы отличаются более простой конструкцией, ускоренным временем отклика, низким расходом энергии и адаптацией к электросистеме, чем гидравлические стабилизаторы. Исходя из указанного предложили исследовать новую, комбинированную рычажно-электромагнитную систему поперечной стабилизации (РЭМСПС) применительно к фургонам типа ГАЗель NEXT.

Для решения научной задачи по обоснованию параметров и режимов работы РЭМСПС предложили исследовать процесс методом математического моделирования в системе Simulink&Matlab. В итоге разработали блок схемы процесса РЭМСПС, математические модели и провели моделирование процесса РЭМСПС с электромагнитным стабилизатором (с ЭМС) и с рычажным стабилизатором (без ЭМС), которое позволило выявить параметры рабочего цикла ЭМС в составе РЭМСПС и провести сравнительный анализ изменения углов крена кузова по вариантам.

Материал и методы

На основании результатов теоретических исследований поперечных сил инерции, пределов приращения потребной угловой жесткости подвески предложили разработать математические модели и провести моделирование в программном пакете MATLAB/Simulink с целью исследования процесса РЭМСПС, сравнительного анализа крена кузова с ЭМС и без ЭМС, а также изыскания параметров времени и амплитуды рабочего цикла ЭМС дополнительно к рычажным с учетом изменения условий движения.

На первом этапе разработали силовую схему поддресоренного автомобиля с ЭМС в составе комбинированной РЭМСПС (рис. 1).

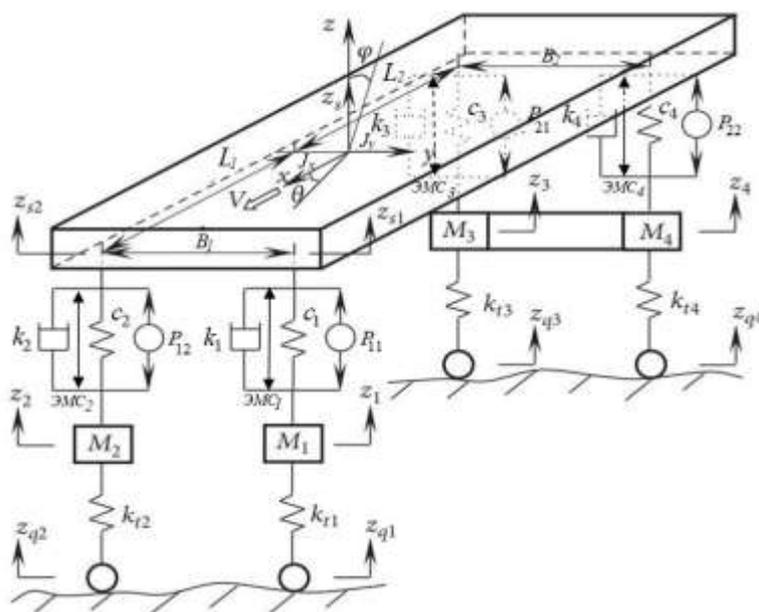


Рисунок 1—Аналитическая схема к моделированию криволинейного движения автомобиля с дополнительными ЭМС: ЭМС_{1,2,3,4} – ЭМС переднего и заднего моста; J_x, J_y – момент инерции подрессоренной массы относительно осей X и Y ; $P_{11,12,21,22}$ – сила соответствующего крепления подвески, ψ – угол крена кузова; $C_{1,2,3,4}$ – жесткость передней и задней подвески; $k_{1,2,3,4}$ – демпфирование амортизатора передней и задней подвески; $M_{1,2,3,4}$ – непрорессоренные массы передней и задней подвески; $z_{q1,2,3,4}$ – усредненные значения неровностей под передними и задними колесами; $k_{t1,2,3,4}$ – жесткость передних и задних шин; V – направление движения автомобиля; B_1, B_2 – колея передней и задней оси

На следующем этапе составили дифференциальные уравнения колебаний (наклонов) подрессоренного кузова с рычажным стабилизатором относительно осей (X, Y, Z) в следующем виде [8-11]:

$$\begin{aligned} M_{\text{п}}\ddot{z} &= P_{11} + P_{12} + P_{21} + P_{22} - M_{\text{п}}g; \\ J_Y\ddot{\varphi} &= P_{11} \cdot \frac{L_1}{2} + P_{12} \cdot \frac{L_1}{2} - P_{21} \cdot \frac{L_1}{2} - P_{22} \cdot \frac{L_1}{2}, \\ J_X\ddot{\varphi} &= P_{11} \cdot \frac{B}{2} + P_{12} \cdot \frac{B}{2} - P_{21} \cdot \frac{B}{2} - P_{22} \cdot \frac{B}{2} + \varphi_{\text{кр}}C_{\text{ст.}i} - P_6h_{\text{кр}} - M_{\text{п}}gh_{\text{кр}}\varphi_{\text{кр}}, \end{aligned} \quad (1)$$

где P_{11}, P_{21} – силы в передней подвеске с двух сторон;

P_{21}, P_{22} – силы во задней подвеске с двух сторон;

P_6 – боковая сила;

$C_{\text{ст.}i}$ – угловая жесткость рычажного стабилизатора i -ой оси;

$\varphi_{\text{кр}}$ – угол крена кузова;

$h_{\text{кр}}$ – плечо крена кузова;

B – колесная база;

L_1 – продольная координата центра масс корпуса.

Затем составили дифференциальные уравнения колебаний (наклонов) с дополнительными ЭМС в составе РЭМСПС в виде:

$$\begin{aligned} M_{\text{п}}\ddot{z} &= P_{11} + P_{12} + P_{21} + P_{22} - M_{\text{п}}g; \\ J_Y\ddot{\varphi} &= P_{11} \cdot \frac{L_1}{2} + P_{12} \cdot \frac{L_1}{2} - P_{21} \cdot \frac{L_1}{2} - P_{22} \cdot \frac{L_1}{2}, \\ J_X\ddot{\varphi} &= P_{11} \cdot \frac{B}{2} + P_{12} \cdot \frac{B}{2} - P_{21} \cdot \frac{B}{2} - P_{22} \cdot \frac{B}{2} + \varphi_{\text{кр}}C_{\text{ст.}i} + \varphi_{\text{кр}}C_{\text{ЭМС.}i} - P_6h_{\text{кр}} - M_{\text{п}}gh_{\text{кр}}\varphi_{\text{кр}}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $C_{\text{ЭМС.}i}$ – угловая жесткость дополнительного стабилизатора ЭМС i -ой оси.

Дифференциальные уравнения вертикальных и угловых колебаний моста относительно оси X_{most} , проходящей через центр масс моста по оси X [9-12] представили в следующем виде:

$$\begin{aligned} m_{\text{most}}\ddot{z} &= F_{k21} - F_{k22} + F_{p21} + F_{p22} - m_{\text{most}}g; \\ J_{\text{most}}\ddot{\varphi} &= F_{k21} \frac{B}{2} - F_{k22} \frac{B}{2} + F_{p21} \frac{B_1}{2} + F_{p22} \frac{B_1}{2}, \end{aligned} \quad (3)$$

где m_{most} – масса моста;

J_{most} – момент инерции заднего моста по оси X_{most} ;

B_1 – рессорная колея;

B – колесная колея;

F_{p21}, F_{p22} – силы задней подвески с левой и правой стороны;

F_{k21}, F_{k22} – силы в задних колесах.

Для определения сил взаимодействия колеса с дорогой приняли, что колесо деформируется в радиальном направлении по нормали к опорной поверхности (рис. 2) [10-14].

Уравнение движения колеса представили в виде:

$$m\ddot{z}_{ji} = P_{ynji}(h_{ji}) - P_{дji}(h_{ynji}) + P_{Шyji} + P_{Шдji} - mg, \quad (4)$$

где $P_{ynji}(h_{ji})$ – сила в i – м упругом элементе j – го борта;

$P_{дji}(h_{ji})$ – сила в i – м демпфирующем элементе j – го борта;

h_{ji} – прогиб шины;

$P_{Шyji}$ и $P_{Шдji}$ – упругая и демпфирующая составляющие со стороны шины;

m – вес колеса.

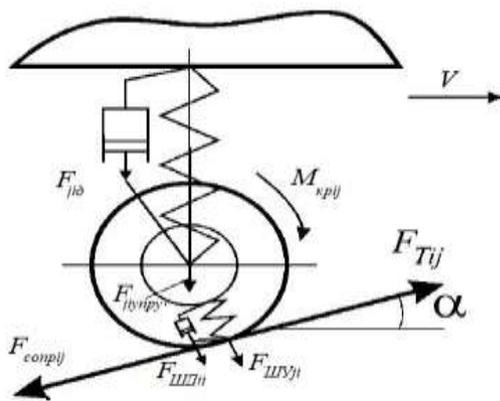


Рисунок 2 – Схема взаимодействия колеса с дорожным основанием

На следующем этапе провели анализ криволинейного движения автомобиля при действии переменной боковой силы P_{δ} . На Рис. 3 в процессе интенсивного обгона автомобиля А автомобилем В.

При скоростном обгоне на участке 2 - 3 (рис. 3) центробежное ускорение и боковая сила увеличивается до $P_{\delta} = Ma_j$, а на участке 4 - 6 сила еще более возрастает $P_{\delta} = Ma_j$ с учетом повышения ускорения $a_j = a_0 \sin(\omega t)$. В итоге при сближении точек 3 и 4 (рис. 3) изменение ускорения будет происходить по зависимости:

$$a_j = a_0 \sin(\omega t), \quad (5)$$

где ω – частота воздействия;

a_0 – амплитуда центробежного ускорения.

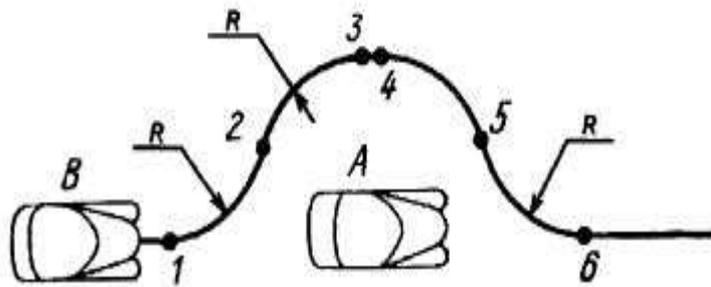


Рисунок 3 – Схема движения автомобиля при скоростном двойном обгоне

Поэтому величину центробежной силы, действующей на кузов автомобиля, который движется по траектории, представленной на рисунке 3, записали в виде:

$$P_{\delta} = \frac{Mv^2}{R} \sin \frac{v}{R} t, \quad (6)$$

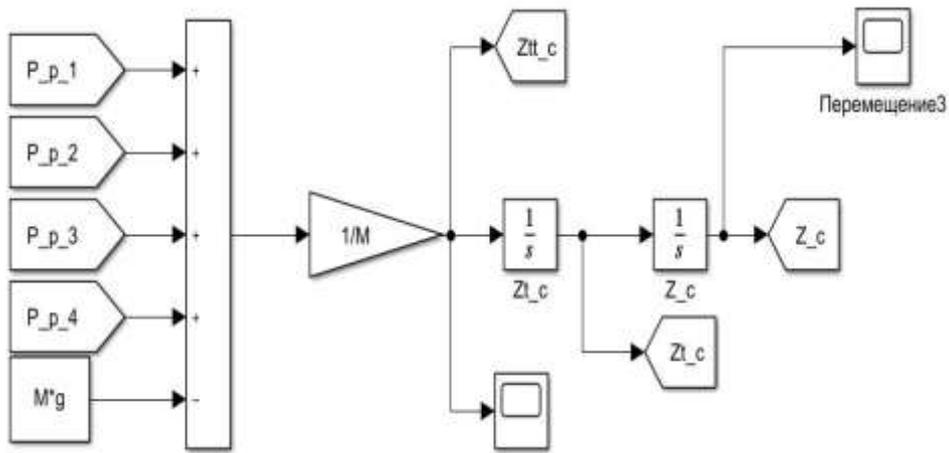
где M – подрессоренная масса груженого фургона;

v – скорость автомобиля;

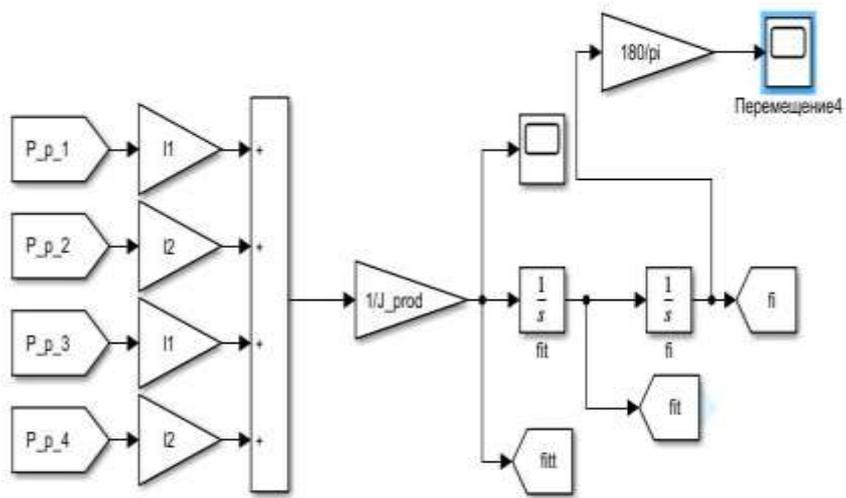
R – радиус кривизны.

Описанная выше математическая модель была представлена в виде блок схем. Так на рисунке 4 представлены основные блоки поведения кузова фургона, в котором рассматрива-

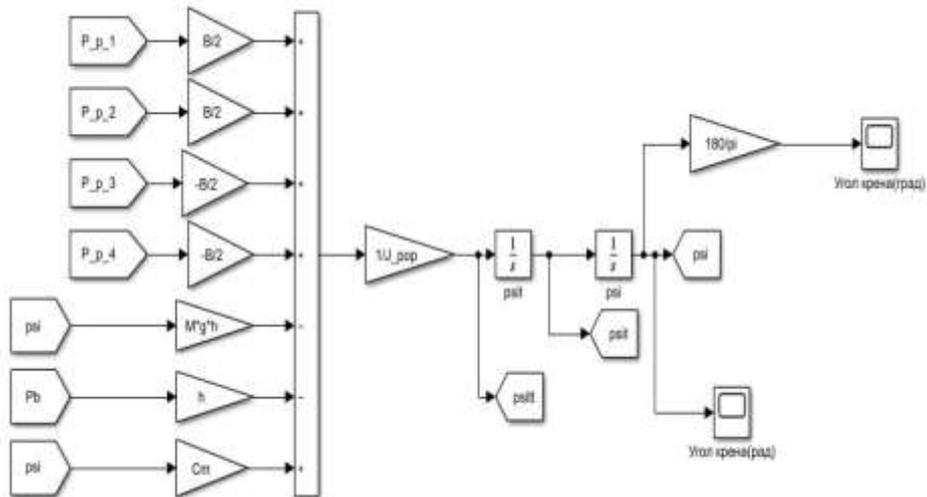
ются вертикальные колебания центра масс; продольно – угловые и поперечно – угловые колебания кузова фургона с ЭМС и без ЭМС, а также блок изменения сил на рисунке 5.



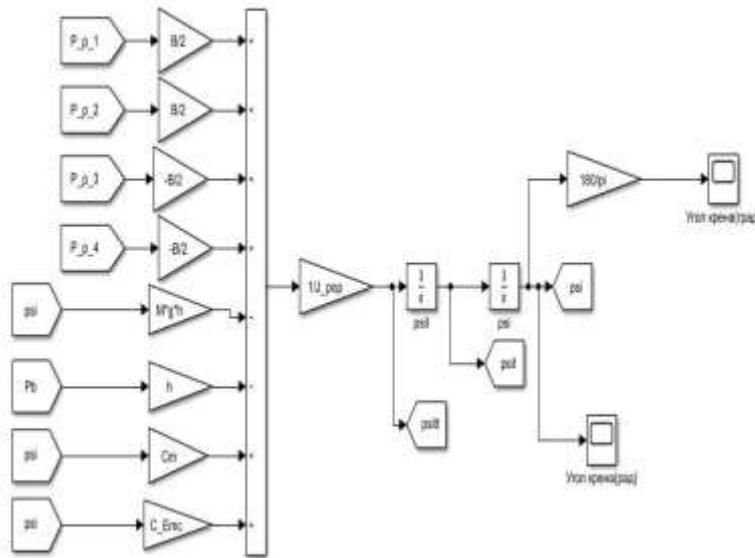
а



б



в



2

Рисунок 4 – Блок поведения корпуса фургона: а - вертикальные колебания центра масс корпуса; б - продольно – угловые колебания корпуса; в - поперечно – угловые колебания корпуса без ЭМС; г - с ЭМС

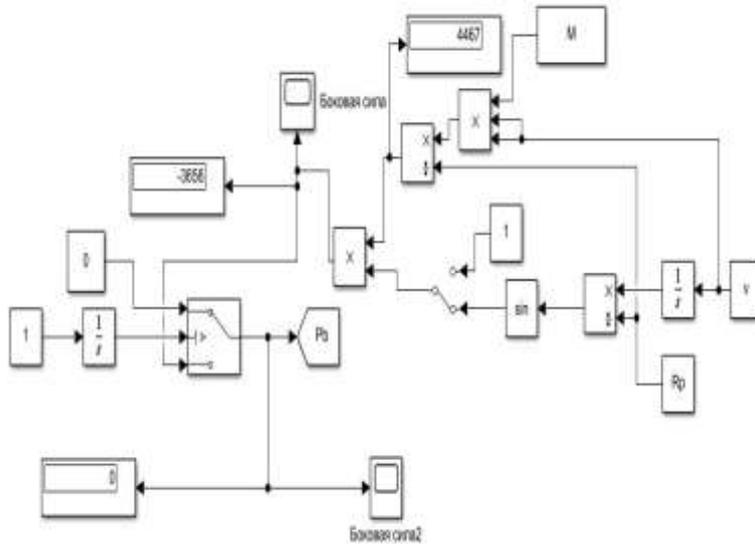


Рисунок 5 – Блок изменения боковых сил

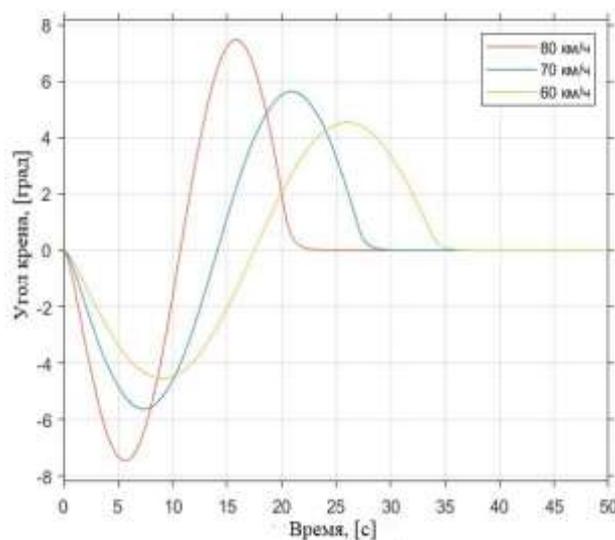


Рисунок 6 – Графики изменения угла крена кузова при маневрировании без ЭМС в зависимости скорости 60:70:80 км/ч при среднем радиусе 20 м по ГОСТ 31507-2012 [15]

На рисунке 6 представлено изменение угла крена при маневрировании автомобиля с рычажным стабилизатором (без ЭМС) ГАЗель NEXT на скорости 60:70:80 км/ч при среднем радиусе 20 м по ГОСТ 31507-2012 [8]. Из рисунка 6 видно, что с увеличением скорости с 60 до 80 км/ч максимальный угол крена увеличивается с 4,2 до 7,7 градусов.

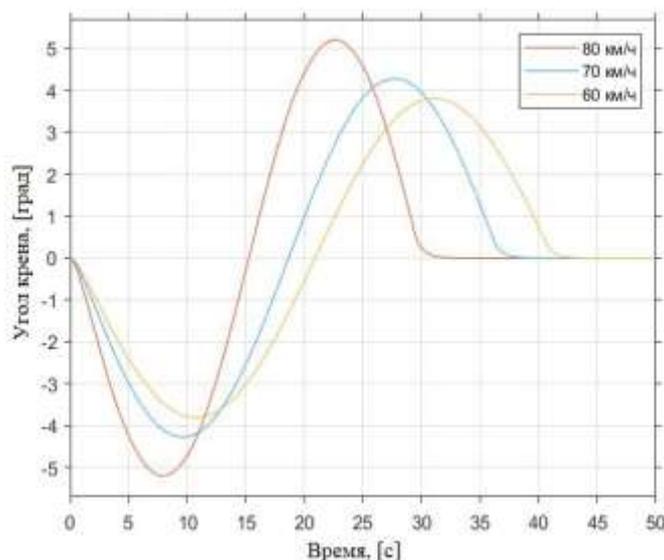


Рисунок 7 – Графики изменения угла крена кузова при маневрировании с ЭМС в зависимости скорости (60:70:80) км/ч при радиусе 20 м по ГОСТ 31507-2012 [15]

На рисунке 7 представлено изменения угла крена при маневрировании автомобиля с электромагнитным стабилизатором (с ЭМС) ГАЗель NEXT со скорости 60:70:80 км/ч при среднем радиусе 20 м.

Результаты и обсуждение

В данной работе выполнено численное моделирование криволинейного движения автомобиля в системе MATLAB/Simulink. Из анализа рисунков 6 и 7 видно, что применение ЭМС уменьшает максимальный угол крена с 7 до 5,2 градусов на скорости 80 км/ч, а при скорости 60 км/ч соответственно с 4,5 до 3,9 градусов. В результате моделирования разработаны блок схемы и математические модели процесса ЭМС в составе РЭМСПС, проведено моделирование РЭМСПС с ЭМС и без ЭМС в системе «MATLAB&Simulink», позволившее исследовать параметры рабочего цикла электромагнитного стабилизатора в составе РЭМСПС и провести анализ углов крена по вариантам моделирования, отличающиеся возможностью обоснования значений амплитуды и времени рабочего цикла ЭМС, а также выявить снижение крена кузова по варианту РЭМСПС с ЭМС.

Выводы

Математическое моделирование новой комбинированной РЭМСПС позволило выявить снижение углов крена кузова до пределов 2,2-6,5 град по варианту с ЭМС, а также обосновать параметры периода рабочего цикла ЭМС в диапазоне от 0 до 12 сек применительно к фургону ГАЗель NEXT.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Aparicio F., Paez J., Moreno F., Jimenez F., Lopez A. Discussion of a new adaptive speed control system incorporating the geometric characteristics of the roadway // Int. J. Veh. Auton. Syst. - 2005. - Vol. 3. - №1. - P. 47-64.
2. Zhou G.X.M., Lan F.C., Chen J.Q. et.al. Research on Analysis and Optimization Design of Coach roll-over Based on FEM Technology // Modern Manufacturing Engineering. - 2010. - Vol. 5. - P.115
3. Тинт Наинг Вин, Сидоров В.Н. Исследование конструкции и принципов работы стабилизатор поперечной устойчивости // Научно-технические разработки в приборостроении и машиностроении и развитие инновационной деятельности в ВУЗе: Материалы Региональной научно-технической конференции. - Калуга: МГТУ им. Н.Э. Баумана. - 2019. - Т.2. – С. 226-231.
4. Тинт Наинг Вин, Алакин В.М. Исследование влияния крена кузова на поперечную устойчивость грузового фургона на повороте // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2022. - №3. - С. 106-113.

5. Тинт Наинг Вин, Алакин В.М. Разработка методики обоснования конструкции и рабочих параметров рычажно – электромагнитной системы стабилизации поперечной устойчивости грузовых фургонов // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. - Брянск: РИСО БГУ. - 2022. - №2. – С. 141-145.
6. Пат. 47811 Российская федерация, МПК В60G 21/00. Стабилизатор поперечной устойчивости транспортного средства.
7. Пат. 2293664 Российская федерация, МПК В60G 21/05. Стабилизатор поперечной устойчивости автомобиля.
8. Тинт Наинг Вин, Сидоров В.Н., Алакин В.М. Разработка математической модели подвески с активными электромагнитными стабилизаторами на примере фургона ГАЗель NEXT // Научные технологии в приборостроении и развитии инновационной деятельности в ВУЗе: Материалы Всероссийской научно-технической конференции. - Калуга. - 2022. - Т. 2. – С. 176-179.
9. Семенов Н.В. Методика расчета параметров подвески автомобиля с учетом поперечноугловых колебаний кузова: Дис. ...канд. техн. наук. - Санкт-Петербург, 2011. - 171 с.
10. Жилейкин М.М., Котиев Г.О., Сарач Е.Б. Математические модели систем транспортных средств. - М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. - 98 с.
11. Жилейкин М.М. Теоретические основы повышения показателей устойчивости и управляемости колесных машин на базе методов нечеткой логики. - М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. - 238 с.
12. Жилейкин М.М., Котиев Г.О. Моделирование систем транспортных средств. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020. – 240 с.
13. Жилейкин М.М. Моделирование систем транспортных средств: методические указания к выполнению лабораторных работ. - М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. - 96 с.
14. Скотников Г.И. Комплексный метод повышения устойчивости двухзвенного автопоезда при экстренном торможении: Дис. ...канд. техн. наук. – Москва, 2021. – 146 с.
15. ГОСТ 31507-2012. Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытания.

Сидоров Владимир Николаевич

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (филиал)

Адрес: 248000, Россия, г. Калуга, ул. Баженова, 2

Д.т.н., профессор кафедры «Колесные машины и прикладная механика»

E-mail: sidorov-kaluga@yandex.ru

Тинт Наинг Вин

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (филиал)

Адрес: 248000, Россия, г. Калуга, ул. Баженова, 2

Аспирант

E-mail: tintnaingwin1990@gmail.com

Алакин Виктор Михайлович

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (филиал)

Адрес: 248000, Россия, г. Калуга, ул. Баженова, 2

К.т.н., доцент кафедры «Колесные машины и прикладная механика»,

E-mail: alakin.vm@bmstu.ru

V.N. SIDOROV, TINT NAING WIN, V.M. ALAKIN

MATHEMATICAL MODELING OF THE PROCESS OF A COMBINED LEVER AND ELECTROMAGNETIC SYSTEM OF LATERAL STABILIZATION

Abstract. The article developed a block diagram and mathematical models of the processes of the lever-electromagnetic system of lateral stabilization in order to analyze the change in the roll angle of the GAZelle NEXT all-metal van during curvilinear movement with a lever stabilizer (without EMC) and using a system of lever-electromagnetic stabilization (with EMC). Modeling of a lever-electromagnetic transverse stabilization system with and without EMS in the Matlab&Simulink system is presented. As a result of modeling curvilinear motion, the effectiveness of using a lever-electromagnetic stabilization system (EMS) was proved in comparison with lever stabilizers (without EMS) based on a comparison of roll angles.

Keywords: lateral stability of the car, lateral forces, roll angle, electromagnetic stabilizer, lever stabilizer bar, block diagram, mathematical model, modeling

BIBLIOGRAPHY

1. Aparicio F., Paez J., Moreno F., Jimenez F., Lopez A. Discussion of a new adaptive speed control system incorporating the geometric characteristics of the roadway // *Int. J. Veh. Auton. Syst.* - 2005. - Vol. 3. - №1. - P. 47-64.
2. Zhou G.X.M., Lan F.C., Chen J.Q. et.al. Research on Analysis and Optimization Design of Coach rollover Based on FEM Technology // *Modern Manufacturing Engineering.* - 2010. - Vol. 5. - P.115
3. Tint Naing Vin, Sidorov V.N. Issledovanie konstruksii i printsipov raboty stabilizator poperechnoy ustoychivosti // *Naukoemkie tekhnologii v priboro- i mashinostroenii i razvitie innovatsionnoy deyatel'nosti v VUZe: Materialy Regional'noy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii.* - Kaluga: MGTU im. N.E. Bau-mana. - 2019. - T.2. - S. 226-231.
4. Tint Naing Vin, Alakin V.M. Issledovanie vliyaniya krena kuzova na poperechnuyu ustoychivost' gruzovogo furgona na povorote // *Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva.* - 2022. - №3. - S. 106-113.
5. Tint Naing Vin, Alakin V.M. Razrabotka metodiki obosnovaniya konstruksii i rabochikh parametrov ry-chazhno - elektromagnitnoy sistemy stabilizatsii poperechnoy ustoychivosti gruzovykh furgonov // *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta.* - Bryansk: RISO BGU. - 2022. - №2. - S. 141-145.
6. Pat. 47811 Rossiyskaya federatsiya, MPK V60G 21/00. Stabilizator poperechnoy ustoychivosti transportnogo sredstva.
7. Pat. 2293664 Rossiyskaya federatsiya, MPK V60G 21/05. Stabilizator poperechnoy ustoychivosti avtomobilya.
8. Tint Naing Vin, Sidorov V.N., Alakin V.M. Razrabotka matematicheskoy modeli podveski s aktivnymi elektromagnitnymi stabilizatorami na primere furgona GAZel' NEXT // *Naukoemkie tekhnologii v priboro- i mashinostroenii i razvitie innovatsionnoy deyatel'nosti v VUZe: Materialy Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii.* - Kaluga. - 2022. - T. 2. - S. 176-179.
9. Semenov N.V. Metodika rascheta parametrov podveski avtomobilya s uchetom poperechnouglovykh kolebaniy kuzova: Dis. ...kand. tekhn. nauk. - Sankt-Peterburg, 2011. - 171 s.
10. Zhileykin M.M., Kotiev G.O., Sarach E.B. Matematicheskie modeli sistem transportnykh sredstv. - M.: MGTU im. N. E. Baumana, 2018. - 98 s.
11. Zhileykin M.M. Teoreticheskie osnovy povysheniya pokazateley ustoychivosti i upravlyaemosti kolesnykh mashin na baze metodov nechetkoy logiki. - M.: MGTU im. N. E. Baumana, 2016. - 238 s.
12. Zhileykin M.M., Kotiev G.O. Modelirovanie sistem transportnykh sredstv. - M.: MGTU im. N.E. Bauma-na, 2020. - 240 s.
13. Zhileykin M.M. Modelirovanie sistem transportnykh sredstv: metodicheskie ukazaniya k vypolneniyu laboratornykh rabot. - M.: MGTU im. N. E. Baumana, 2017. - 96 s.
14. Skotnmkov G.I. Kompleksnyy metod povysheniya ustoychivosti dvukhzvennogo avtopoezda pri ekstrennom tormozhenii: Dis. ...kand. tekhn. nauk. - Moskva, 2021. - 146 s.
15. GOST 31507-2012. Avtotransportnye sredstva. Upravlyaemost' i ustoychivost'. Tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniya.

Sidorov Vladimir Nikolayevich

Bauman Moscow State Technical University (Branch)
Address: 248000, Russia, Kaluga, Bazhenova str., 2
Doctor of technical sciences
E-mail: sidorov-kaluga@yandex.ru

Tint Naing Win

Bauman Moscow State Technical University (Branch)
Address: 248000, Russia, Kaluga, Bazhenova str., 2
Postgraduate
E-mail: tintnaingwin1990@gmail.com

Alakin Viktor Mikhailovich

Bauman Moscow State Technical University (Branch)
Address: 248000, Russia, Kaluga, Bazhenova str., 2
Candidate technical sciences
E-mail: alakin.vm@bmstu.ru

Научная статья

УДК 621.74

doi:10.33979/2073-7432-2023-3-4(82)-26-39

А.А. ПОЛЬШИН, Н.С. ЛЮБИМЫЙ, И.В. СЕМЁНОВ, А.К. МАЛЬЦЕВ

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРИ РЕМОНТЕ И ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНО-ДОРОЖНОГО КОМПЛЕКСА

***Аннотация.** Рассмотрено экспериментальное исследование технологического процесса получения композитной АБС – металлополимер детали. Описаны способ и устройство для изготовления композитных деталей основанного на методе вакуумного всасывания вязкотекучего металлополимера в оболочковую форму. Приведены рекомендации по технологическим режимам заполнения формы, учитывающие наличие вибрационного воздействия в процессе заполнения формы металлополимером, а также параметра числа Рейнольдса для установления ламинарного течения металлополимера в технологических полостях формы. Исследование прочности спроектированной композитной детали произведены с применением метода конечных элементов модуля APM FEM. Проведенные расчёты прочности и жесткости деталей выполненных из АБС, металлополимера и металла, позволили произвести сравнение прочностных характеристик деталей изготовленных различными способами. Даны соответствующие рекомендации по использованию композитной детали армированной металлополимером в области машиностроения.*

***Ключевые слова:** композит, металлополимер, моделирование, вакуум, вибрации, аддитивное производство, топологическая оптимизация, критерий Рейнольдса*

Введение

В процессе эксплуатации машин, механического оборудования, оснастки и прочих технических объектов, происходит переход объекта из работоспособного состояния в неработоспособное [1, 2]. То есть, объект переходит в состояние при котором хотя бы один из параметров, характеризующих его способность выполнять заданные функции, не будет соответствовать требованиям нормативно-технической или проектной документации. В ходе технического обслуживания и ремонта неработоспособные объекты путём восстановления могут быть переведены в работоспособное состояние из неработоспособного. Классические методы восстановления металлических деталей машин заключаются в восстановлении слоя материала путём наплавки с последующей механической обработкой, устранения усталостных трещин, проведение мероприятий по упрочнению поверхностного слоя, использованию полимерно-композиционных материалов для устранения различных дефектов и др. технологические операции [3-5].

Предприятия Российской промышленности в большом объёме использующие зарубежную технику, в недавнем времени сталкиваются с необходимостью ремонта этой техники при условии прекращения работы дилерских сетей и соответствующего обслуживания. Возникают проблемы с доступом к актуальной документации, регламентам, программному обеспечению, запасным частям. Эти факторы снижают суверенитет отечественной промышленности. Введение параллельного импорта частично устраняет эти проблемы, однако доступ к запасным частям становится затруднённым. Увеличение цепочек поставок приводит к увеличению стоимости для конечного потребителя, возникают риски со срывом поставок, но самое главное это невозможность прогнозирования сроков поставок и соответственно сроков ремонта техники.

Между тем, существует возможность изготовления запасных частей непосредственно на ремонтном предприятии [5, 6]. Парк механического оборудования позволяет произвести необходимую механическую обработку металлической заготовки для придания ей требуемых размерных и качественных характеристик. Проблемой является быстрое получение металлических заготовок, особенно когда форма детали является сложной. В этом случае на помощь механику приходят технологии реверс инжиниринга [7, 8]. Форму детали можно от-

сканировать и при помощи CAD систем доработать, заложить припуски на механическую обработку рабочих поверхностей, таким образом получив твердотельную модель. Остаётся вопрос – «как изготовить такую заготовку?», ведь подготовка производства для литья или штамповки, потребует изготовления дорогостоящей оснастки, что для единичного производства будет не целесообразным. Имея твердотельную цифровую модель можно использовать аддитивные технологии для изготовления заготовки, однако существующие аддитивные технологии также имеют свои недостатки [9, 10]. Если говорить об аддитивном изготовлении пластиковых деталей [9, 10], то такие детали будет сложно использовать в энергонагруженных устройствах, твёрдость рабочих поверхностей этих деталей не будет обеспечивать долговечность эксплуатации ремонтируемого объекта, кроме того используемый в большинстве распространённых технологий 3D печати пластик обладает сравнительно низкой температурой плавления, что ограничивает его использование в условиях термонапряжённости. С другой стороны существуют технологии 3D печати металлами [11], которые могут быть применены для изготовления сложнопрофильных металлических изделий. Однако аддитивное производство металлами для многих случаев остаётся недоступным из-за чрезмерно высокой стоимости печати. Изготовление одного изделия размерами 200x20x20мм может достигать сотен тысяч рублей [12].

Таким образом существует актуальная задача, предложить и обосновать экономически целесообразный способ изготовления сложнопрофильных деталей для ремонта и восстановления деталей машин, позволяющий при минимальной трудоёмкости и стоимости материалов произвести деталь (заготовку), обладающую требуемыми свойствами рабочих поверхностей. Такой технологией может являться технология изготовления металл-композитных или полимер-композитных деталей, сущность которой состоит в изготовлении пластиковой или металлической оболочки оформляющей форму будущего изделия с последующим заполнением (армированием) этой оболочки жидким металлополимером [13], придающим конечному изделию требуемые свойства.

Проведенные ранее расчёты и экспериментальные исследования при изготовлении металл-металлополимерной формообразующей детали пресс-формы показали, что металлополимер хорошо работает на сопротивление сжатию [14], так предел прочности на сжатие по ГОСТ 4651-2014 составляет 230 МПа. Также металлополимеры обладают достаточно высокими показателями температуростойкости, до 300°C по ГОСТ 15088-2014. Твёрдость по Бринелю составляет 310 МПа. Что позволяет использовать его в качестве армирующего и функционального материала при изготовлении композитной конструкции.

Цель работы заключается в экспериментальном обосновании возможности заполнения пустотелых оболочковых форм металлополимерным материалом, оценке прочности композитной конструкции и экономической оценке целесообразности её изготовления по предложенной методике. Сложность заключается в том, что металлополимер является вязкотекучей жидкостью с ограниченным временем жизнеспособности, что обуславливает сложность заполнения пустотелых форм и требует применения специальных технологических подходов.

Материал и методы

Экспериментальные исследования проводились с применением образца детали типа – серьга, модель оболочковой формы которого показана на рисунке 1.

Изготовление оболочковой формы детали производилось с применением FDM (Печать методом послойного наложения) 3D принтера Hercules Strong 19 с областью печати 300x300x400мм. Для печати полумоделей оболочковой формы был использован ABS пластик BESTFILAMENT 1.75 мм, стоимостью 1990р за кг. Отметим, что в полумоделях предусмотрен литниковый штуцер для подвода металлополимера и выпор для удаления газообразных включений из формы и металлополимера в процессе технологической операции заполнения формы. Форма выполнена сборной из полумоделей для минимизации дополнительного построения поддержек при 3D печати. Для 3D печати использовалось сопло диаметром 0.5 мм. Для генерации G кода применялся слайсер PrusaSlicer V 2.1.0.

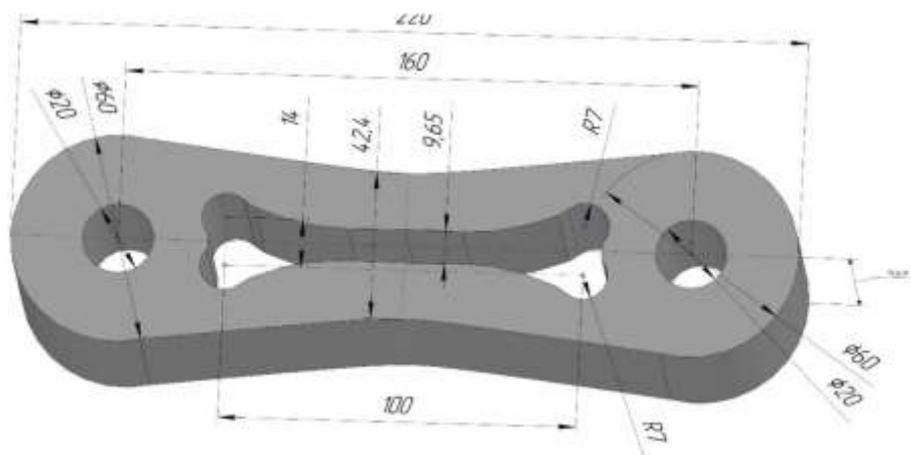


Рисунок 1 – Цифровая модель детали - серьга

Для реализации технологического процесса заполнения металлополимером пустотелой формы, был использован оригинальный способ и устройство для его осуществления, описанный в заявке на патент на изобретение № 2022129619 «Способ и устройство для изготовления композитных изделий из металлополимера», сущность которого заключается в заполнении металлополимером пустотелой формы под действием вибрации и вакуума наложенного на эту форму, то есть эффекта вибро-вакуумного всасывания. На рисунке 2 представлена цифровая модель спроектированного лабораторного устройства и его физическая модель.



Рисунок 2 – Цифровая модель спроектированного лабораторного устройства и его физическая модель: а -цифровая модель вибро-вакуумного устройства для изготовления композитных деталей; б – лабораторная установка для реализации технологического процесса заполнения оболочковых форм металлополимером

Подготовка цифровых моделей используемых в исследовании производилась с применением САД программного продукта КОМПАС 3D V20, а для исследования прочностных характеристик методом конечных элементов [15] использовался встроенный программный САЕ пакет АРМ FEM, способный также проводить топологическую оптимизацию геометрической формы объекта, что в дальнейшем позволит сократить расход используемого металлополимера.

Для заполнения (армирования) пустотелой формы использовался металлополимер ЛЕО «Ферро-хром» ТУ 2257-002-48460567-00, физико-механические и технологические характеристики которого представлены в таблице 1.

Теория

Для исследования прочностных характеристик различных вариантов изготовления детали – «серьга», в качестве физико-механических характеристик использовались значения следующих материалов из библиотеки КОМПАС 3D V20: Сталь 40 ГОСТ 1050-2013; АБС 0804Т ТУ 2214-019-002 03521-96, характеристика которых также представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Физико-механические и технологические характеристики металлополимера «Ферро-хром», АБС и Сталь 40.

Характеристика	АБС 0804Т ТУ 2214-019-002 03521-96	Металлополимер «Ферро-хром» ТУ 2257-002-48460567-00	Сталь 40 ГОСТ 1050-2013
Модуль Юнга, [Н/мм ²]	1627	6000	210000
Коэффициент Пуассона, [·]	0,37 (при 23°С)	0,25	0.3
Плотность, [кг/мм ³]	1,04 е-06	2.55 е-06	7.85е-06
Коэффициент температурного расширения, [1/°С]	0.5 x 10-4 (при 23°)	0.001	1.26е-05
Коэффициент теплопроводности, [Вт/°С*мм]	2	0,0024	0.049
Предел прочности при сжатии, [Н/мм ²]	80	230	570
Предел прочности (Временное сопротивление), [Н/мм ²]	47	76	570
Предел текучести, [Н/мм ²]	35,3	50	750
Предел усталостной прочности (н), [Н/мм ²]	40	115	281
Предел усталостной прочности (к), [Н/мм ²]	20	57,5	143

Параметры сетки конечных элементов для модели показанной на рисунке 3, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – параметры конечно-элементной сетки для расчёта прочности детали «Серьга»

Наименование	Значение
Тип элементов	10-узловые тетраэдры
Максимальная длина стороны элемента [мм]	3
Максимальный коэффициент сгущения на поверхности	1.2
Коэффициент разрежения в объеме	1.5
Количество конечных элементов	44342
Количество узлов	77577

Теория / Расчёт

Вопросы теоретического описания движения вязко текучих материалов, таких как металлополимеры, позволяют произвести предварительную аналитическую оценку возможности заполнения пустотелой формы. Пустотелая форма предназначенная для её заполнения металлополимером может иметь самую разную форму, траекторию и расположение внутренних полостей, внутреннюю структуру с учётом применения методов топологической оптимизации формы [8].



Рисунок 3 – Сетка конечных элементов детали «серьга»

Рассмотренные в работах [17, 18] теоретические описания движения вязких жидкостей в контексте ламинарных движений, описывались решениями уравнений Навье-Стокса. Однако в контексте используемой технологии вибро-вакуумного литья наблюдается хаотическое образование нерегулярно движущихся и взаимодействующих между собой жидкими массами. Эта форма движений в технике носит название турбулентных движений. Опыты английского физика О. Рейнольдса были посвящены изучению характера течения жидкостей. Было установлено, что при повышении скорости ламинарно движущейся жидкости на вначале прямолинейную струйку начинают накладываться волны, распространение которых вдоль струйки говорит о появлении возмущений в ранее спокойном прямолинейном движении. Постепенно с ростом скорости течения число таких волн и их амплитуда возрастают, пока, наконец, струйка не разобьется на нерегулярные, перемешивающиеся между собой более мелкие струйки, хаотический характер которых позволяет судить о переходе ламинарного движения в турбулентное. То есть, с возрастанием скорости ламинарное движение теряет свою устойчивость; при этом случайные возмущения, которые вначале вызывали лишь колебания струек вокруг устойчивого их прямолинейного положения, быстро развиваются и приводят к новой форме движения жидкости — турбулентному движению. Именно тогда Рейнольдс выявил, что ламинарное и турбулентное движения связаны критерием, названным в последствии его именем, критерием Рейнольдса. При достижении некоторого критического значения этого критерия, ламинарное движение преобразуется в турбулентное. Согласно его экспериментам критическое значение этого числа оказалось равным

$$Re_{кр} = \left(\frac{u_{ср} \cdot d}{\nu}\right)_{кр} = 1.3 \cdot 10^4, \quad (1)$$

где $u_{ср}$ – средняя по расходу скорость;

d – диаметр трубы;

ν – кинематический коэффициент вязкости.

Так же им было открыто и нижнее значение критического коэффициента, равного 2000, такого, что при выполнении неравенства $Re < Re_{кр}$ движение в трубе оставалось ламинарным, каковы бы не были введённые в течение возмущения. Отмечено, что на критическое число $Re_{кр}$ влияет конфузурность или диффузурность трубы. В сходящихся трубах (конфузорах) $Re_{кр}$ превышает соответствующее число для цилиндрической трубы, а для расширяющихся каналов (диффузорах) $Re_{кр}$ сравнительно мало. В исследовании [18], было отмечено, что шероховатость стенок не влияет на значение $Re_{кр}$, что закономерно, так как нижнее число Рейнольдса связано с устойчивостью потока, а не с возмущениями в нём. Многочисленные опыты потока в трубе при близких к критическим значениям [19, 20], показали, что даже при фиксации сечения трубы и одном и том же значении числа Рейнольдса, может происходить чередование ламинарных и турбулентных режимов течения. Данное явление получило название перемежности, и обуславливается наличием пробок вдоль протяженности труб. Перемежность характеризуют коэффициентом перемежности γ , долей времени существования турбулентного режима в данном сечении трубы. Если течение всё время ламинарное $\gamma = 0$, а если турбулентное, то $\gamma = 1$.

При заполнении полостей формы металлополимером, необходимо обеспечить полноту заполнения, то есть заполнить все полости и поднутрения формы, не допустить образование недоливов и воздушных раковин в форме, которые приведут к выбраковке такой композитной заготовки. В этом контексте при реализации технологического процесса заполнения пустотелой формы металлополимером, необходимо обеспечить ламинарное течение металлополимера во всех возможных случаях течения по каналам сложной формы пустотелой оболочки. Для этого необходимо обеспечить такие условия при которых число Re не достигало бы критических значений. Кинематический коэффициент вязкости ν для металлополимера будет меняться с течением времени, вязкость будет снижаться с течением времени, для металлополимера он может быть определён экспериментально. Однако время жизнеспособности композиции, согласно таблицы 1, составляет 3-4 часа, при том что на заполнение формы потребуется 5-10 мин. Поэтому коэффициент ν можно принять константой. Параметр d

зависит от конкретных параметров пустотелой формы, так как диаметр «трубы» (диаметр «трубы», следует понимать как площадь сечения внутреннего канала формы по которому протекает металлополимер) не постоянен. Целесообразно в расчётах использовать параметр по наименьшему сечению, который гарантирует ламинарность течения потока для всех остальных возможных случаев с большим диаметром «труб».

Таким образом критическое значение числа Рейнольдса для обеспечения ламинарного потока металлополимера в форме будет регулироваться параметром u_{cp} средней по расходу скорости.

С учётом того, что процесс заполнения металлополимером формы ведётся при наличии вибрационного возбуждения, необходимого для интенсификации течения металлополимера, а как было отмечено выше критический коэффициент должен не превышать 2000 для обеспечения ламинарности течения при наличии возмущений, итоговая зависимость для нашего случая, будет иметь следующий вид:

$$u_{cp} = \frac{2000 \cdot v}{d}, \frac{Ст}{мм^2}; \quad (2)$$

Коэффициент перемежности γ в нашем случае будет равен 0, так как наличие пробок исключается за счёт эффекта вакуумирования пустотелой формы.

Результаты

Для детали «серьга», принятой в качестве образца для исследования с применением инструмента «оболочка» программного продукта КОМПАС 3D [21] была получена пустотелая модель с толщиной стенки 1 мм, для которой были построены технологические элементы (литник и выпоры). Далее модель была разделена на 2 полумодели, для того, что бы исключить необходимость использования двухэкструдерного принтера и построения поддержек из вымываемого материала. Это позволило уменьшить время изготовления, расход материала, использовать более доступный FDM 3D принтер. После изготовления оболочковых полуформ, они были склеены для получения пустотелой формы. На рисунке 3 показан процесс генерации G кода для печати оболочковых форм на 3D принтере Hercules Strong 19.

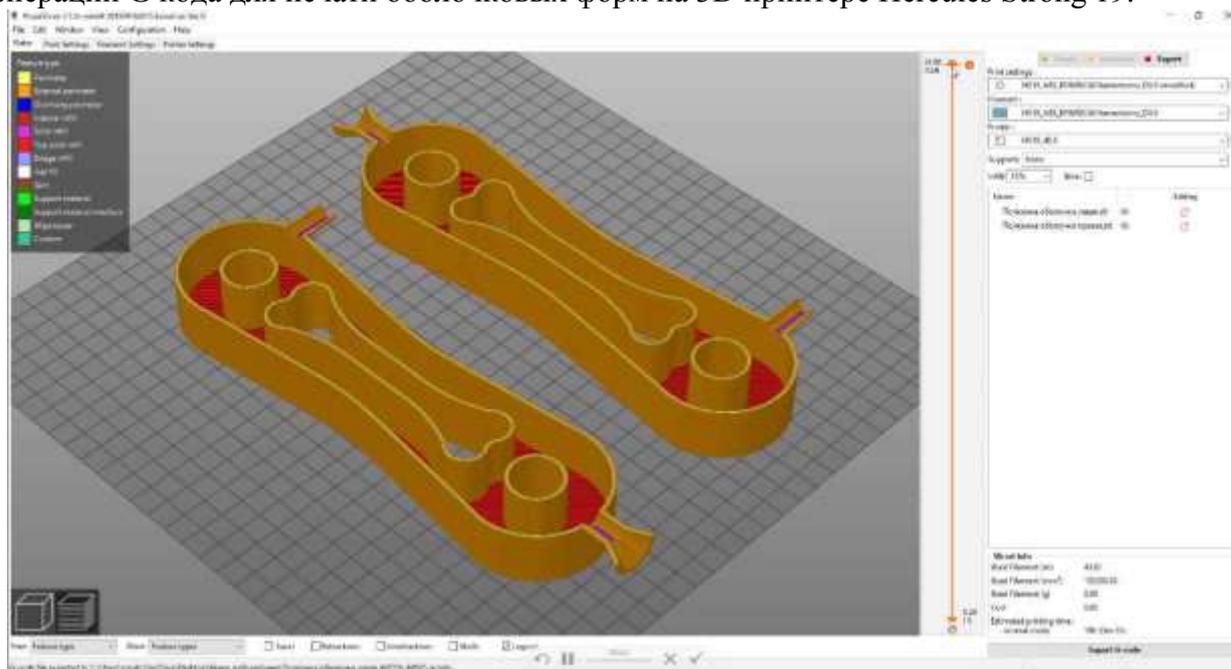


Рисунок 3 – Рабочее окно PrusaSlicer V 2.1.0 при генерации G кода для оболочковой формы детали «серьга»

Далее отпечатанные полумодели (рис. 4 а) были склеены и в полученную пустотелую форму при помощи технологии вибро-вакуумного всасывания был залит жидкий металлополимерный состав (рис. 4 б).



Рисунок 4 – а - отпечатанные полумодели детали «Серьга»; б – процесс заполнения пустотелой оболочки жидким металлополимером

При наружном обследовании полученной композитной (ABS пластик - металлополимер) детали «серьга», после удаления технологических элементов (выпора и литника), на срезе (рис. 5) можно наблюдать отсутствие недоливов, несплошностей и раковин, а также характерный металлический блеск металлического наполнителя в теле металлополимерной матрицы. Благодаря наличию вибраций в системе и вакуума, а также подбору параметров расхода металлополимера из условия не превышения числа Re значения равного 2000, удалось произвести полное заполнение весьма шероховатой формы полученной FDM 3D печатью. Благодаря этому удалось получить деталь с изотропной структурой, то есть свойства такой детали одинаковы во всех направлениях, если говорить о металлополимерной части [22].



Рисунок 5 – срез в месте удаления литника

Далее необходимо произвести оценку прочности полученной детали по сравнению с деталями выполненными из металла или из пластика. Для этого воспользуемся средствами модуля АРМ FEM программного пакета КОМПАС 3D. Условимся, что при нагружении одна проушина будет стационарно закреплена, а на вторую будут действовать подшипниковая нагрузка в 10000 Н, направленная в первом случае от центра одной проушины к центру другой (на сжатие), а во втором случае в противоположную сторону (на растяжение).

Произведя расчёт модели детали «серьга» были получены данные о эквивалентных напряжениях по Мизесу, суммарном линейном перемещении (жесткости), коэффициенте за-

паса прочности по пределу текучести, а также коэффициенте запаса по пределу прочности для трёх вариантов используемого материала (сталь 40, АБС, Металлополимер) при сжимающей нагрузке. Полученные расчётные данные представлены в таблице 3 и на рисунке 6. Для нагрузки работающей на растяжение, данные показаны в таблице 4 и рисунке 7.

Таблица 3 – Расчётные данные конечно-элементного анализа детали «серьга» при сжатии

Материал	Эквивалентное напряжение по Мизесу, МПа		Суммарное линейное перемещение, мм		Коэффициент запаса по пределу текучести		Коэффициент запаса по пределу прочности	
	min	max	min	max	min	max	min	max
АБС	0.03	30.40	0	0.93	1.15	10	2.63	10
Сталь 40	0.02	30.62	0	0.007	10	10	10	10
Металлополимер	0.03	30.82	0	0.252	1.62	10	7.46	10

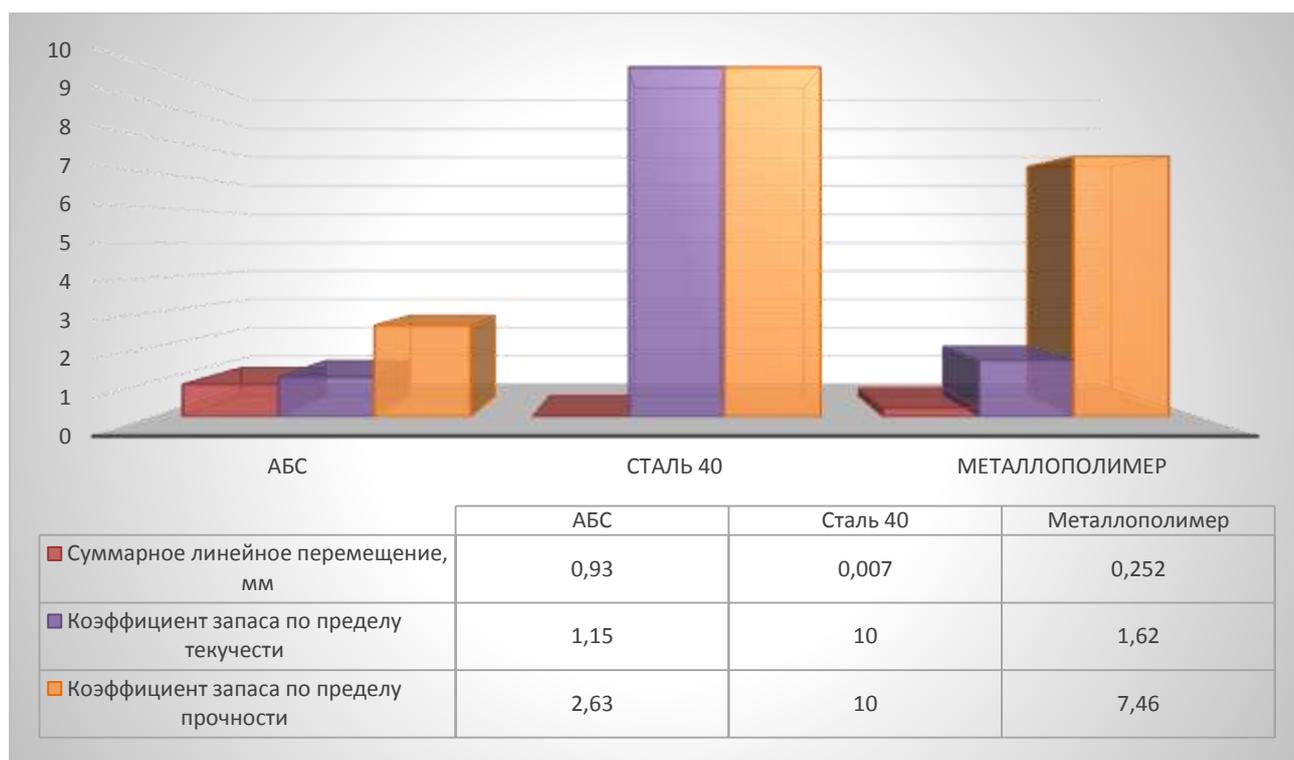


Рисунок 6 - Расчётные данные конечно-элементного анализа детали «серьга» при сжатии

Таблица 4 – Расчётные данные конечно-элементного анализа детали «серьга» при растяжении

Материал	Эквивалентное напряжение по Мизесу, МПа		Суммарное линейное перемещение, мм		Коэффициент запаса по пределу текучести		Коэффициент запаса по пределу прочности	
	min	max	min	max	min	max	min	max
АБС	0.04	28.59	0	1.02	1.224	10	2.798	10
Сталь 40	0.06	28.53	0	0.01	10	10	10	10
Металлополимер	0.07	28.61	0	0.28	1.748	10	8.04	10

Обсуждение

Проведенные экспериментальные работы показали, что не смотря на возможную сложность полости формы, переменность направления и площади сечения пустот формы, а также реологические характеристики металлополимерной композиции, существует возможность заполнения этим материалом различных форм без образования дефектов выраженных в недоливах, газовых пористостях и раковинах. Возможность осуществления такого техно-

гического приёма как литъё металлополимера под воздействием вакуума и давления, открывает новый горизонт использования класса этих материалов как конструкционных материалов при изготовлении и ремонте различных деталей.

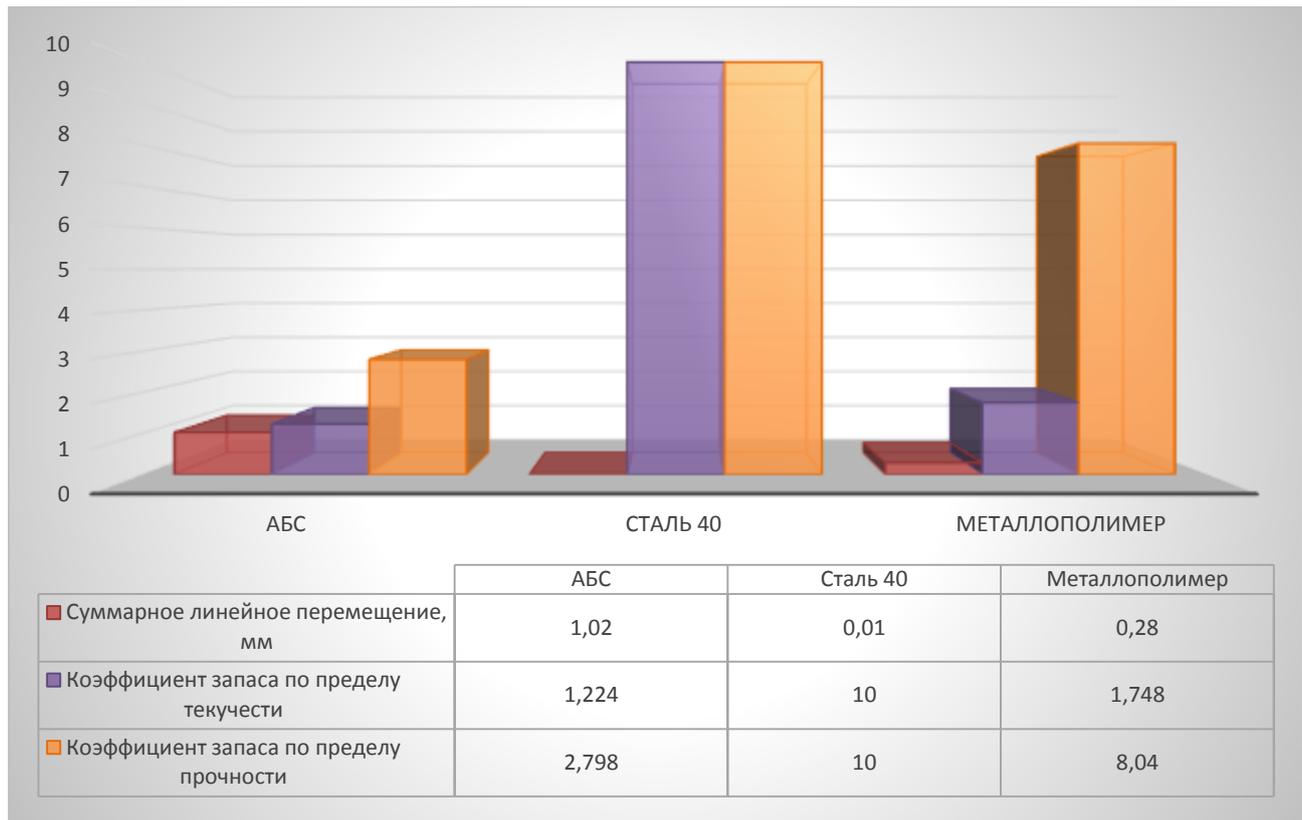


Рисунок 7 - расчётные данные конечно-элементного анализа детали «серьга» при растяжении

Производитель в своих технических указаниях и регламентах [13], рекомендует использование холоднотвердеющих компаундов – металлополимеров, как ремонтный состав для наружного восстановления рабочих поверхностей валов, станин и др. Рекомендуется послойное нанесение металлополимеров слоями не более 3-5 мм. Производитель не рекомендует использовать вакуум при работе с металлополимерами из-за подверженности компаунда закипанию. Закипание происходит по причине наличия в металлополимере газовых включений, образующихся при смешивании компонентов, которые под воздействием высокого вакуума могут расширяться в объёме и образовывать пузыри, которые при отверждении будут превращаться во всевозможные раковины и дефекты.

Анализ диаграмм (рис. 6, 7) составленных на основе конечно-элементных расчётов, показывает, что по отношению к металлу и АБС и металлополимер уступают в своих характеристиках. Однако в сравнении между собой, по параметру коэффициента запаса по пределу прочности разница составляет: для сжатия 4.83 ед., для растяжения 5.242 ед., в пользу металлополимера. Для параметра суммарного линейного перемещения (жесткости), разница составляет: для сжатия 0,678 мм, для растяжения 0,74 мм, также в пользу металлополимера.

Необходимо отметить, что данные для физико-механических характеристик материала АБС, использованных при расчётах, будут отличаться в меньшую сторону, для детали напечатанной на 3D принтере из этого материала. В исследовании [9] экспериментально было установлено, что существуют огромные различия между моделируемым анализом и экспериментальным анализом, разница в модуле Юнга отпечатанного образца и смоделированного, отличалась в среднем примерно на 31.67 % для образца со 100 % заполнением. Исследователи связывают причину таких различий с тем, что пластическое соединение между слоями не является совершенным, что приводит к более слабой структуре при эксперименталь-

ных испытаниях по сравнению с смоделированным анализом, который предполагает, что соединение будет в идеальном состоянии. Любая пыль, влага, некачественный филамент или даже человеческий фактор при экструзии нити во время печати, также могут повлиять на результат печати.

Выводы

Экспериментальным образом было установлено, что при соблюдении технологических условий, возможно качественное заполнение пустотелой формы вязко текучим металлополимером холодного отверждения. Использование металлополимера в качестве конструкционного армирующего материала, при заполнении пустотелых оболочковых форм расширяет возможности использования 3D печати. Во первых прочность детали изготовленной из металлополимера (тонкостенной оболочковой формой пренебрежём), согласно конечно-элементным расчётам, почти в 5 раз больше. Учитывая данные [9] о несоответствии смоделированных результатов прочности образцов и натуральных, можно говорить о превышении запаса прочности металлополимерной детали над пластиковой из АБС в 6,5 раз, что существенно. Металлополимерные детали могут использоваться в более энергонагруженных конструкциях [23].

С точки зрения времени изготовления, согласно данным программы слайсера (рисунок 8), основное технологическое время печати полнотелой детали составит 34,5 часа, тогда как печать оболочки составила 28,5 часов. Экономия по времени составила 6 часов. Масса израсходованного пластика составила 0,424 кг для полнотелой детали и 0,109 кг, для оболочки. В стоимостном выражении по себестоимости израсходованного материала стоимость полнотелой детали из АБС составила 844 руб., а оболочки 217 руб. Стоимость металлополимера ЛЕО 1400 руб, за 0,5 кг. Получается стоимость композитной детали АБС + металлополимер, приблизительно составит 1617 руб. Таким образом стоимость изготовления композитной детали АБС + металлополимер, почти в 2 раза превышает стоимость изготовления детали напечатанной на 3D принтере. Однако производитель, делая композитную деталь, будет экономить на трудоёмкости около 6 часов на 1 деталь, кроме того композитная деталь жестче на 27 % и прочнее в 6,5 раз, что может быть определяющим при выборе технологии изготовления той или иной детали.

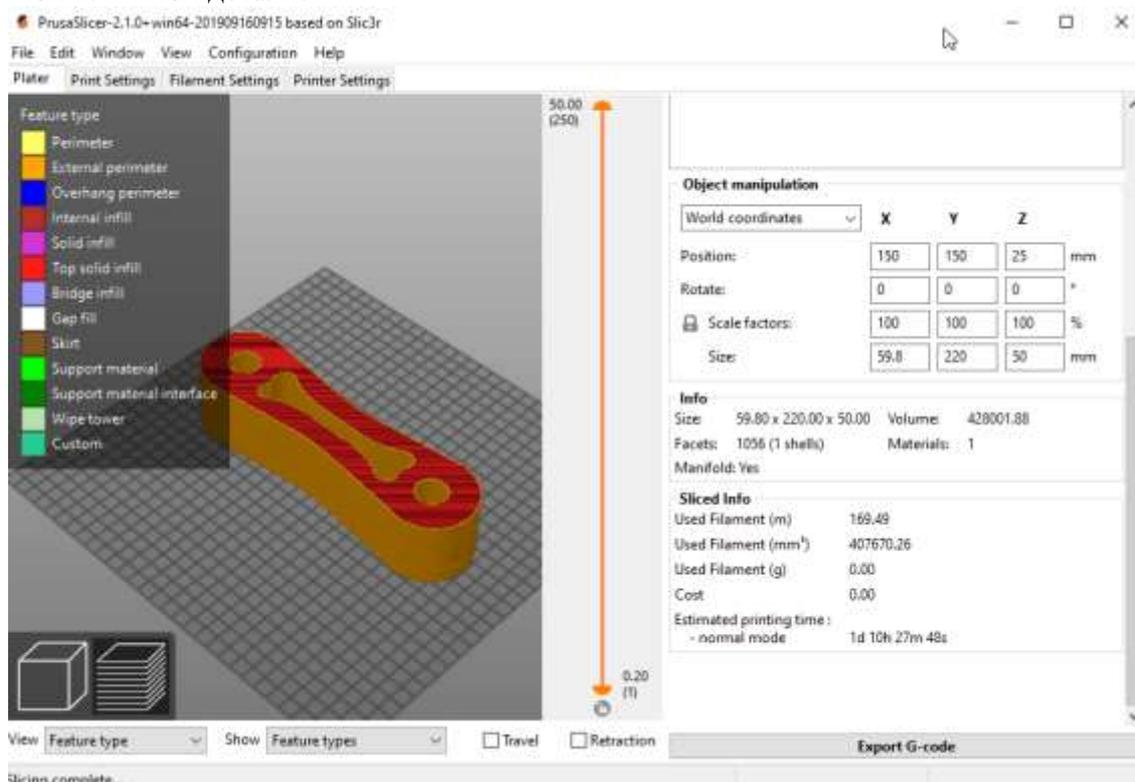


Рисунок 8 – Процесс генерации G кода для печати детали «серьга»

Так же следует отметить, что твёрдость отверждённого металлополимера по Бринелю (НВ) достигает 310 МПа, в то время как у стали 40 твердость находится в диапазоне от 250 до 450 МПа в зависимости от вида термообработки. Для АБС пластика твердость измеряется по Роквеллу и составляет R80 - R116 единиц, что в сопоставлении значительно меньше твёрдости металлополимера и металла. Сопоставимая с металлом твердость металлополимера, позволяет использовать этот материал в конструкциях, где рабочие поверхности будут выполнены из металлополимера, например для посадки подшипников, в то время как для пластиков необходимо будет использовать закладные детали.

Высокая температуростойкость металлополимера (до 300° С), также позволяет использовать его и в термонагруженных конструкциях, где применение АБС пластик не будет возможным из-за его низкой температуры плавления.

Ещё одним направлением где может эффективно использоваться металлополимер, в качестве элемента композитной конструкции, это металл-металлополимерные системы. То есть конструкции, в которых оболочковая форма изготавливается из металла, также путём печати на 3D принтере и выполняет роль силового каркаса. Металлополимер же может использоваться для заполнения внутренних полостей металлических оболочек и придавать жёсткости конструкции. Таким образом можно значительно сократить объём дорогостоящей печати металлом и повысить экономическую эффективность производства.

В работе была экспериментально доказана возможность изготовления композитных конструкций на основе металлополимера. Не смотря на вязкость состава при обеспечении требуемых технологических параметров давления и вибрации, была обеспечена возможность обеспечения ламинарного течения металлополимера при заполнении им оболочковой формы, что обеспечило бездефектность конструкции. Расчёты прочностных характеристик показали, что прочность металлополимерных деталей, полученных методом вибро-вакуумного литья, превосходит те же детали, отпечатанные на 3D принтере из пластика, что расширяет границы использования металлополимеров в различных отраслях машиностроения.

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. Федоренко М.А., Погонин А.А., Бондаренко Ю.А. Восстановление цилиндрической формы при различных видах износа крупногабаритных вращающихся деталей // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. - 2017. - №9. - С. 130-136. - DOI 10.12737/article_59a93b0ac85999.41172542.
2. Зорин В.А., Баурова Н.И., Косенко Е.А. Дефектация деталей из дисперсно-наполненных полимерных материалов методом инфракрасной термографии // Все материалы. Энциклопедический справочник. - 2017. - №2. - С. 22-25.
3. Зорин В.А., Камзанов Н.С., Кожатаев С.К. Влияние технического состояния автотранспортных средств на дорожно-транспортную аварийность в республике Казахстан // Ремонт. Восстановление. Модернизация. - 2017. - №5. - С. 30-33.
4. Баурова Н.И., Зорин В.А., Приходько В.М. Информационная модель состояния технической системы // Все материалы. Энциклопедический справочник. - 2017. - №6. - С. 11-16.
5. Зорин В.А., Косенко Е.А., Заичка С.А., Бояринцев А.К. Перспективы применения инфракрасной термографии и ультразвуковой дефектоскопии деталей, восстановленных с использованием полимерных композиционных материалов // Новые материалы и технологии в машиностроении. - 2017. - №26. - С. 26-28.
6. Чепчуров М.С., Минасова В.Е., Маслова И.В. К вопросу о контактном взаимодействии двух цилиндрических деталей технологического агрегата // Ремонт. Восстановление. Модернизация. - 2018. - №9. - С. 40-44. - DOI 10.31044/1684-2561-2018-0-9-40-44.
7. Анциферов С.И., Карачевцева А.В., Сиваченко Л.А. Проектирование и дизайн изделия в CAD/CAM/CAE системе NX под управлением PLM системы Teamcenter // Техническая эстетика и дизайн-исследования. - 2019. - Т. 1. - №2. - С. 45-52. - DOI 10.34031/2687-0878-2019-1-2-45-52.
8. Анциферов С.И., Лютенко А.О., Сычев Е.А., Сиваченко Л.А. Цифровое проектирование с применением генеративного дизайна // Техническая эстетика и дизайн-исследования. - 2019. - Т. 1. - №4. - С. 38-44. - DOI 10.34031/2687-0878-2019-1-4-38-44.

9. Mazlan Mohammad Azeeb, Anas Mohamad Azizi, Izmin Nor Aiman Nor and Abdullah Abdul Halim. Effects of Infill Density, Wall Perimeter and Layer Height in Fabricating 3D Printing Products // *Materials*. - 2023. - Vol. 16. - P. 695-670. - <https://doi.org/10.3390/ma16020695>.
10. Зорин В.А., Тимченко М.И. Применение аддитивных технологий при изготовлении деталей автомобилей // *Грузовик*. - 2018. - №4. - С. 16-17.
11. Пиженков Е.Н., Подгорбунских В.М., Рошин В.А. Изготовление корпусов сборных сверлильных головок с использованием SLM технологии 3D печати / Отв. ред. Сукиасян А.А. // *Прорывные научные исследования как двигатель науки: сборник статей Международной научно-практической конференции*. - Часть 3. - Уфа: Омега сайнс. - 2018. - С. 132-137.
12. Nickolai Lubimyi, Vladimir Pavlovich Voronenko, Andrey Polshin, Mihail Gerasimov, Antsiferov Sergey, Oğuz Kaan Öztürk, Boris Chetverikov, Alexander Tikhonov, Vladislav Ryazantsev, Shumyacher Vyacheslav Mikhailovich & Melentiev Nikita. What is the economic feasibility of manufacturing a metal-metal-polymer composite part compared to other technologies? // *Australian Journal of Mechanical Engineering*. - Vol. 20. - P. 1-12. - DOI: 10.1080/14484846.2022.2094533.
13. Металлополимеры LEO [Электронный ресурс] / URL: <http://www.leopolimer.ru/index.htm>.
14. Lubimyi N.S., Polshin A.A., Gerasimov M.D. et al. Justification of the Use of Composite Metal-Metal-Polymer Parts for Functional Structures [Электронный ресурс] / *Polymers*. - 2022. - Vol. 14. - P. 340-352. – Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/polym14020352>.
15. Kipping Johann and Schüppstuh Thorsten. Load-Oriented Nonplanar Additive Manufacturing Method for Optimized Continuous Carbon Fiber Parts [Электронный ресурс] / *Materials*. - 2023. - Vol. 16. - P. 998-1005. – Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/ma16030998>.
17. Абайдуллин Б.Р. Влияние реологии и энергии активации на критичность теплообмена при ламинарном течении неньютоновской жидкости в плоскопараллельном канале // *Фундаментальные исследования*. - 2008. - №4. - С. 104-105.
18. Матвиенко О.В. Механика вязкой жидкости. - Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет. - 2020. - 244 с.
19. Потапов А.Г. Ламинарно-турбулентный переход при течении ньютоновских и неньютоновских жидкостей в круглой трубе // *Научно-технический сборник Вести газовой науки*. - 2016. - №2. - С. 174-182.
20. Копылова Е.В. Вокзальный комплекс в современных условиях // *Железнодорожный транспорт*. - 2019. - №4. - С. 37-42.
21. Ступин Д.А., Саврухин А.В., Ефимов Р.А. Анализ нагруженности вагонов-цистерн для перевозки опасных грузов при роспуске с горки // *Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта*. - 2023. - Т. 82. - №1. - С. 36-46. - DOI 10.21780/2223-9731-2023-82-1-36-46.
22. Братусь А.С., Иванова А.П., Меньальди Ж.Л., Юрченко Д.В. Локальные решения уравнения Гамильтона - Якоби - Беллмана для некоторых стохастических задач // *Автоматика и телемеханика*. - 2007. - №6. - С. 99-115.
23. Сидоренко В.Г., Копылова Е.В., Сафронов А.И., Туманов М.А. Опыт и перспективы автоматизации управления перевозочным процессом скоростного транспорта городских агломераций // *Автоматика на транспорте*. - 2023. - Т. 9. - №1. - С. 33-48. - DOI 10.20295/2412-9186-2023-9-01-33-48.

Польшин Андрей Александрович

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Адрес: 308036, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, 46
Аспирант
E-mail: info@polshin.ru

Любимый Николай Сергеевич

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Адрес: 308036, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, 46
Доцент кафедры «Подъемно-транспортные и дорожные машины»
E-mail: nslubim@bk.ru

Семенов Илья Витальевич

Российский университет транспорта
Адрес: 127994, г. Москва, ул. Образцова, 9
Доцент кафедры «Электроэнергетика транспорта»
E-mail: semenov020877@rambler.ru

Мальцев Ардалион Константинович

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Адрес: 308036, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, 46
Студент
E-mail: ardalion_bgtu@mail.ru

A.A. POLSHIN, N.S. LUBIMYI, I.V. SEMENOV, A.K. MALTSEV

MODERN METHODS IN THE REPAIR AND RESTORATION OF MACHINE PARTS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF THE TRANSPORT AND ROAD COMPLEX

Abstract. An experimental study of the technological process of obtaining a composite ABS - a metal-polymer part is considered. A method and device for the manufacture of composite parts based on the method of vacuum suction of a viscous metal polymer into a shell form are described. Recommendations are given on the technological modes of filling the mold, taking into account the presence of vibration in the process of filling the mold with a metal polymer, as well as the Reynolds number parameter for establishing a laminar flow of the metal polymer in the technological mold cavities. The study of the strength of the designed composite part was carried out using the finite element method of the APM FEM module. The calculations of the strength and stiffness of parts made of ABS, metal-polymer and metal made it possible to compare the strength characteristics of parts made by various methods. Relevant recommendations are given on the use of a composite part reinforced with a metal-polymer in the field of mechanical engineering.

Keywords: composite, metal polymer, modeling, vacuum, vibrations, additive manufacturing, topological optimization, Reynolds criterion

BIBLIOGRAPHY

1. Fedorenko M.A., Pogonin A.A., Bondarenko Yu.A. Vosstanovlenie tsilindricheskoy formy pri razlichnykh vidakh iznosa krupnogabaritnykh vrashchayushchikhsya detaley // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova. - 2017. - №9. - S. 130-136. - DOI 10.12737/article_59a93b0ac85999.41172542.
2. Zorin V.A., Baurova N.I., Kosenko E.A. Defektatsiya detaley iz disperno-napolnennykh polimernykh materialov metodom infrakrasnoy termografii // Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik. - 2017. - №2. - S. 22-25.
3. Zorin V.A., Kamzanov N.S., Kozhataev S.K. Vliyanie tekhnicheskogo sostoyaniya avtotransportnykh sredstv na dorozhno-transportnuyu avariynost' v respublike Kazakhstan // Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya. - 2017. - №5. - S. 30-33.
4. Baurova N.I., Zorin V.A., Prikhod'ko V.M. Informatsionnaya model' sostoyaniya tekhnicheskoy sistemy // Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik. - 2017. - №6. - S. 11-16.
5. Zorin V.A., Kosenko E.A., Zaichka S.A., Boyarintsev A.K. Perspektivy primeneniya infrakrasnoy termografii i ul'trazvukovoy defektoskopii detaley, vosstanovlennykh s ispol'zovaniem polimernykh kompozitsionnykh materialov // Novye materialy i tekhnologii v mashinostroenii. - 2017. - №26. - S. 26-28.
6. Chepchurov M.S., Minasova V.E., Maslova I.V. K voprosu o kontaktnom vzaimodeystvii dvukh tsilindricheskikh detaley tekhnologicheskogo agregata // Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya. - 2018. - №9. - S. 40-44. - DOI 10.31044/1684-2561-2018-0-9-40-44.
7. Antsiferov S.I., Karachevtseva A.V., Sivachenko L.A. Proektirovanie i dizayn izdeliya v CAD/CAM/CAE sisteme NX pod upravleniem PLM sistemy Teamcenter // Tekhnicheskaya estetika i dizayn-issledovaniya. - 2019. - T. 1. - №2. - S. 45-52. - DOI 10.34031/2687-0878-2019-1-2-45-52.
8. Antsiferov S.I., Lyutenko A.O., Sychev E.A., Sivachenko L.A. Tsifrovoe proektirovanie s primeneniem generativnogo dizayna // Tekhnicheskaya estetika i dizayn-issledovaniya. - 2019. - T. 1. - №4. - S. 38-44. - DOI 10.34031/2687-0878-2019-1-4-38-44.
9. Mazlan Mohammad Azeeb, Anas Mohamad Azizi, Izmin Nor Aiman Nor and Abdullah Abdul Halim. Effects of Infill Density, Wall Perimeter and Layer Height in Fabricating 3D Printing Products // Materials. - 2023. - Vol. 16. - P. 695-670. - <https://doi.org/10.3390/ma16020695>.
10. Zorin V.A., Timchenko M.I. Primenenie additivnykh tekhnologiy pri izgotovlenii detaley avtomobiley // Gruzovik. - 2018. - №4. - S. 16-17.
11. Pizhenkov E.N., Podgorbunskikh V.M., Roshchin V.A. Izgotovlenie korpusov sbornykh sverlil'nykh go-lovok s ispol'zovaniem SLM tekhnologii 3D pechati / Otv. red. Sukiasyan A.A. // Proryvnye nauchnye issledovaniya kak dvigatel' nauki: sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Chast' 3. - Ufa: Omega sayns. - 2018. - S. 132-137.
12. Nikolai Lubimyi, Vladimir Pavlovich Voronenko, Andrey Polshin, Mihail Gerasimov, Antsiferov Sergey, Ouz Kaan ztrk, Boris Chetverikov, Alexander Tikhonov, Vladislav Ryazantsev, Shumyacher Vyacheslav Mikhailovich & Melentiev Nikita. What is the economic feasibility of manufacturing a metal-metal-polymer composite part compared

- to other technologies? // Australian Journal of Mechanical Engineering. - Vol. 20. - P. 1-12. - DOI: 10.1080/14484846.2022.2094533.
13. Metallopolimery LEO [Elektronnyy resurs] / URL: <http://www.leopolimer.ru/index.htm>.
14. Lubimyi N.S., Polshin A.A., Gerasimov M.D. et al. Justification of the Use of Composite Metal-Metal-Polymer Parts for Functional Structures [Elektronnyy resurs] / Polymers. - 2022. - Vol. 14. - P. 340-352. - Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.3390/polym14020352>.
15. Kipping Johann and Schppstuh Thorsten. Load-Oriented Nonplanar Additive Manufacturing Method for Optimized Continuous Carbon Fiber Parts [Elektronnyy resurs] / Materials. - 2023. - Vol. 16. - P. 998-1005. - Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.3390/ma16030998>.
17. Abaydullin B.R. Vliyaniye reologii i energii aktivatsii na kritichnost' teploobmena pri lami-narnom techenii nen'yutonovskoy zhidkosti v ploskoparallelnom kanale // Fundamental'nye issledovaniya. - 2008. - №4. - S. 104-105.
18. Matvienko O.V. Mekhanika vyazkoy zhidkosti. - Tomsk: Tomskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitel'nyy universitet. - 2020. - 244 s.
19. Potapov A.G. Laminarno-turbulentnyy perekhod pri techenii n'yutonovskikh i nen'yutonovskikh zhidkostey v krugloy trube // Nauchno-tehnicheskiy sbornik Vesti gazovoy nauki. - 2016. - №2. - S. 174-182.
20. Kopylova E.V. Vokzal'nyy kompleks v sovremennykh usloviyakh // Zheleznodorozhnyy transport. - 2019. - №4. - S. 37-42.
21. Stupin D.A., Savrukhin A.V., Efimov R.A. Analiz nagruzhennosti vagonov-tsistem dlya perevozki opasnykh gruzov pri rospuske s gorki // Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta. - 2023. - T. 82. - №1. - S. 36-46. - DOI 10.21780/2223-9731-2023-82-1-36-46.
22. Bratus' A.S., Ivanova A.P., Menal'di Zh.L., Yurchenko D.V. Lokal'nye resheniya uravneniya Gamil'tona - Yakobi - Bellmana dlya nekotorykh stokhasticheskikh zadach // Avtomatika i telemekhanika. - 2007. - №6. - S. 99-115.
23. Sidorenko V.G., Kopylova E.V., Safronov A.I., Tumanov M.A. Opyt i perspektivy avtomatizatsii upravleniya perevoznym protsessom skorostnogo transporta gorodskikh aglomeratsiy // Avtomatika na transporte. - 2023. - T. 9. - №1. - S. 33-48. - DOI 10.20295/2412-9186-2023-9-01-33-48.

Polshin Andrey Aleksandrovich

Belgorod State Technological University
Adress: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46
Postgraduate student
E-mail: info@polshin.ru

Lubimyi Nikolai Sergeevich

Belgorod State Technological University
Russia, 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46
Associate Professor of the Department of Hoisting and Transportation and Road Machinery
E-mail: nslubim@bk.ru

Semenov Ilya Vitalievich

Russian University of Transport (MIIT)
Russia, 127994, Russia, Moscow, Obraztsova str., 9
Associate Professor of the Department of Electric Power Engineering of Transport
E-mail: semenov020877@rambler.ru

Maltsev Ardalion Konstantinovich

Belgorod State Technological University
Russia, 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46.
Student
E-mail: ardalion_bgtu@mail.ru

Научная статья

УДК 629.369

doi:10.33979/2073-7432-2023-3-4(82)-40-46

А.А. МАТАШНЁВ, Д.А. ЧУДАКОВ, А.М. КЛИМОВИЧ, В.В. БУЛЫЧЕВ

РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОГО АБРАЗИВОСТРУЙНОГО АППАРАТА НА БАЗЕ ШАССИ МАЗ-6501

***Аннотация.** В данной работе представлены результаты исследования способов поддержания технического и санитарно-гигиенического состояния объектов во время коммунальных или строительных работ. Представлен вариант автономного абразивоструйного аппарата на базе шасси МАЗ-6501, который способен не только повысить производительность текущего или капитального ремонта за счет снижения времени на подготовительные операции, но и обладает возможностью работать в труднодоступных местах. Исследование свойств абразивных веществ позволило использовать материалы с более высокой абразивной способностью, твердостью и динамической прочностью частиц, в следствии этого - более низким пылеобразованием и возможностью повторного использования.*

***Ключевые слова:** абразивоструйный аппарат, автономность, подготовительная операция, купершлак*

Введение

Для поддержания надлежащего состояния объектов внешнего благоустройства территории городов и населенных пунктов проводят комплекс операций по восстановлению исправности или работоспособности здания (сооружения, дорожных ограждений, коммуникаций, объектов жилищно-коммунального назначения), восстановлению его ресурса или ресурса его составных частей [4].

Материал и методы

Перед отделочными работами внешней облицовки фасадов зданий, дорожных ограждений и т.д., следует произвести подготовку поверхности: очистить стены от налёта и загрязнений, снять лакокрасочное покрытие, удалить старую штукатурку. Данная операция отличается продолжительной трудоемкостью, что негативно влияет как на качество, так и на график выполнения [3].

В настоящее время используются разнообразные абразивоструйные аппараты: от перевозных установок, производительностью 1,5 м², до стационарных станций, производительностью 30 м² [21]. Однако они все они имеют существенный недостаток: невозможность автономной работы при коммунальных или строительных работах в труднодоступных местах при сохранении высокой производительности.

В целях улучшения организации работ по текущему, капитальному ремонту и снижению нормы времени на подготовительные операции предлагается применять механизированные транспортные средства, оснащённые специальным абразивоструйным оборудованием, обеспечивающим выполнения поставленных видов работ по установленной технологии [1].

Под абразивоструйной обработкой понимают очистку поверхностей путем воздействия абразива в качестве шлифовального средства, который с помощью сжатого воздуха с высоким ускорением направляется на очищаемый объект через сопло. Принцип действия абразивоструйного аппарата основан на кинетической энергии абразивного материала [9].

Теория / Расчет

Общий вид разработанного автономного абразивоструйного аппарата представлен на рисунке 1. Грузовой автомобиль 1, с установленной абразивоструйной установкой, приезжает в район проведения коммунальных или строительных работ. Работа установки начинается после наполнения бака 3 абразивным веществом. Для этого используется шнековый конвейер 4 с приводом от электродвигателя 5. Электродвигатель с помощью червячного редуктора

б и карданной передачи 7 передает крутящий момент на вал шнека. Таким образом, шнек приходит в движение и осуществляет транспортировку абразивного вещества из кузова автомобиля 2 в бак. Во время загрузки бака происходит разворачивание абразивного шланга 14 со специальным наконечником - соплом 15. После наполнения бака, электродвигатель выключается – шнековый конвейер прекращает транспортировку. Далее происходит закрытие вентиля сброса давления 11, и открытие общего вентиля 8, вентиля подачи воздуха 9 и вентиля подачи абразива 10. Для абразивоструйных аппаратов с избыточным давлением, давление и поток абразива можно регулировать независимо друг от друга [10]. Воздух под давлением, необходимый для работы установки, подается при помощи компрессора 12. Приводом является встроенный дизельный двигатель, имеющий необходимую мощность при небольшом расходе топлива. Таким образом, воздух под давлением попадает в систему и с помощью тройника 13 разделяется на два потока. Первый поток поступает в бак для абразива. С помощью создаваемого давления, он закрывает пробкой засыпную горловину, тем самым обеспечивая герметичность и высокое давление внутри бака, что благоприятно влияет на подачу абразива. Второй поток служит для образования абразивно-воздушной смеси и передачи её через шланг и сопло на обрабатываемую поверхность. После того, как бак для абразива опустеет, компрессор выключается; закрываются общий вентиль, вентиль подачи воздуха и вентиль подачи абразива, и открывается вентиль сброса давления, необходимый для снижения давления внутри бака, а также открытия пробки засыпной горловины. Далее повторяется процесс наполнения бака абразивным веществом.

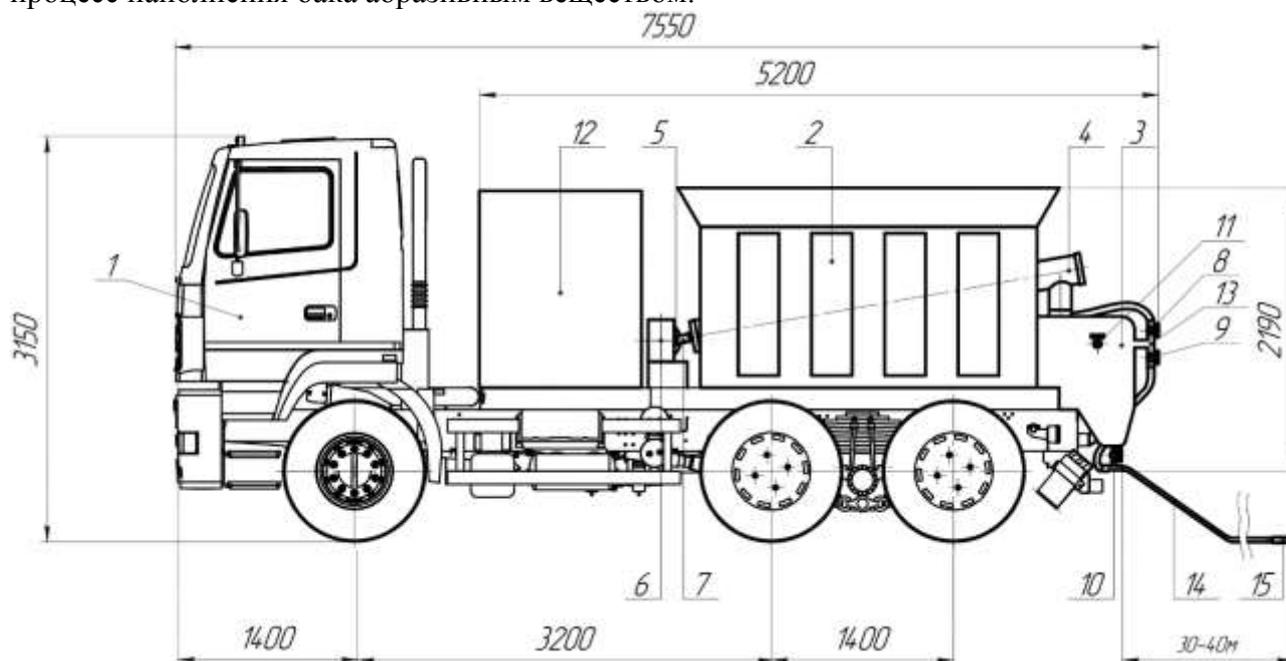


Рисунок 1 – Общий вид разработанного абразивоструйного аппарата

С помощью общей компоновочной схемы определены габаритные размеры абразивоструйной установки. Показатели не превышают рассчитанные значения для шасси грузового автомобиля [20].

Важным этапом является выбор абразивного материала, ведь от правильного выбора напрямую будет зависеть скорость очистки, качество и запыленность. Абразивоструйные работы с применением кварцевого песка официально запрещены в соответствии с постановлением главного санитарного врача России от 26.05.2003 г., в связи с высокой запыленностью и риском развития болезней органов дыхания [2]. Альтернативой будет являться купершлак - абразивный порошок, получаемый в результате переработки шлаков медеплавильного производств. В отличие от песка содержит менее 1 % кварца в свободном виде и может применяться для открытой пескоструйной очистки. Обладает более высокой абразивной способностью, твердостью и динамической прочностью частиц, в следствии этого - более низким пылеобразованием и возможностью повторного использования. Удельная плотность частиц ку-

першлака выше, чем у песка, соответственно выше и масса частиц, что еще в большей степени увеличивает эффективность этих абразивов [11].

Для корректной работы и установки абразивоструйного аппарата на шасси грузового автомобиля, необходимо рассчитать мощностные и габаритно-массовые характеристики его составных частей. В зависимости от состояния очищаемой поверхности, требуемой степени очистки и необходимой производительности подбираются: давление, производительность компрессора, расход абразива, диаметр сопла, диаметр абразивного шланга, диаметр воздушной линии [12].

Используя ГОСТ Р ИСО 8501-1-2014, принимаем степень абразивоструйной обработки Sa 2,5 «сверхтщательная абразивная струйная очистка: при осмотре без применения увеличительных приборов поверхность должна быть свободной от масла, консистентной смазки и грязи, а также от прокатной окалины, коррозии, лакокрасочных покрытий и посторонних частиц. Любые оставшиеся следы очистки допускаются в виде бледных пятен, точек или полос» [5].

Для обеспечения рабочего давления при работе абразивоструйного аппарата принято решение отдельно установить кузов и бак для абразива.

В кузове происходит перевозка абразивного вещества до места коммунальных или строительных работ. Стенки кузова спроектированы согласно ГОСТ Р 52280-2004 для обеспечения оптимальной массы и прочностных показателей [6]. Максимальная грузоподъемность кузова была рассчитана с учетом непрерывной работы в течении рабочего дня (смены).

Бак для абразива служит для непрерывной подачи абразивного вещества в трубопровод. Он оснащен пробкой засыпной горловины, которая обеспечивает герметичность и постоянное давление внутри бака; вентилем подачи воздуха для создания рабочего давления внутри бака, что облегчает поступление абразива; вентилем сброса давления, который служит для снижения давления внутри бака, а также открытия пробки засыпной горловины; вентилем подачи абразива в смесь, с помощью которого регулируется подача абразива в трубопровод [13]. Емкость бака для абразива была рассчитана с учетом мощности компрессора, а также из условия непрерывной работы в течении одного часа.

При необходимости наполнения бака абразивным веществом, загрузка осуществляется с помощью шнекового конвейера.

Шнековые конвейеры используются для транспортирования сыпучих, мелкокусковых, вязких и тестообразных материалов. Они состоят из винта с опорами в качестве рабочего органа, желоба, загрузочного и разгрузочного устройств [14].

Расчет шнекового конвейера проводится в следующем порядке:

Определяем необходимый диаметр винта по формуле:

$$D = 0,275 \cdot \frac{Q}{E \cdot n \cdot \varphi \cdot \rho_H \cdot R_\beta}, \quad (1)$$

где D – диаметр винта, м;

Q – расчетная производительность конвейера, принимаем 6000 кг/ч;

E – отношение шага винта к диаметру винта, для абразивных материалов принимаем 0,8;

n – частота вращения винта, принимаем 60 об/мин;

ρ_H – насыпная плотность груза, принимаем 1600 кг/м³;

R_β – коэффициент уменьшения производительности от наклона конвейера, выбирается в зависимости от угла наклона конвейера, принимаем 0,8;

φ – коэффициент заполнения желоба, выбирается в зависимости от типа груза, принимаем 0,125;

β – угол наклона конвейера, принимаем 10°.

Частота вращения вала предварительно принимается по таблице рекомендуемых частот, затем проверяется по формуле:

$$n \leq n_{\max} \quad (2)$$

При этом n_{\max} рассчитывается по уравнению:

$$n_{\max} = \frac{A}{\sqrt{D}}, \quad (3)$$

где A – коэффициент, выбирается в зависимости от типа груза, принимаем 30 [15].

Далее из стандартного ряда выбираем диаметр D и шаг S (как для хорошо сыпучих материалов) винта [14].

Диаметр вала шнека считается по формуле:

$$d = (0,25 \dots 0,3) \cdot D. \quad (4)$$

Используя полученную величину, выбираем окончательное значение диаметра вала по ГОСТ 10704-91 [7].

Затем определяется мощность на валу винта:

$$N_0 = \frac{Q}{367} \cdot (L_z \cdot \omega \pm H) + 0,002 \cdot R \cdot g_k \cdot L_z \cdot \omega_g, \quad (5)$$

где N_0 – мощность на валу винта, кВт;

L_z – горизонтальная проекция длины конвейера, м;

H – высота подъема (+) или опускания (–) груза, м;

ω – коэффициент сопротивления перемещению груза, выбирается в зависимости от типа груза, принимаем 4,0;

R – коэффициент, учитывающий характер перемещения винта, принимаем 0,2;

g_k – погонная масса вращающихся частей конвейера, кг/м;

v – осевая скорость движения груза, м/с;

S – шаг винта, м;

ω_g – коэффициент сопротивления движению вращающихся частей конвейера, при подшипниках скольжения 0,16.

Горизонтальная проекция длины конвейера считается по формуле:

$$L_z = L \cdot \cos \beta, \quad (6)$$

где L – длина конвейера, принимаем 3 м;

β – угол подъема груза.

Высота подъема считается по формуле:

$$H = L \cdot \sin \beta. \quad (7)$$

Погонная масса вращающихся частей конвейера считается по формуле:

$$g_k = 80 \cdot D. \quad (8)$$

Осевая скорость движения груза считается по формуле:

$$v = S \cdot n. \quad (9)$$

Мощность двигателя для привода шнекового конвейера определяется по формуле:

$$N = \frac{K \cdot N_0}{\eta}, \quad (10)$$

где K – коэффициент запаса мощности, для приводов шнеков принимают 1,25;

η – КПД привода, принимаем 0,85 [17].

Привод шнекового конвейера состоит из электродвигателя (выбирается в зависимости от необходимой мощности), соединенного упругой втулочно-пальцевой муфтой с червячным редуктором. Из-за отсутствия соосности между валом шнека и валом редуктора, крутящий момент от выходного вала редуктора передается на вал винта посредством использования карданной передачи. Так как угол между валами составляет 10° , то мощностных потерь происходить не будет [18].

Необходимое передаточное число редуктора определяется по формуле:

$$U_{ред} = \frac{n_{эд}}{n}, \quad (11)$$

где $n_{эд}$ – число оборотов электродвигателя;

n – число оборотов на валу шнека [19].

Для обеспечения необходимого количества сжатого воздуха для работы автономного абразивоструйного аппарата будет использоваться винтовой компрессор. Такие компрессоры обеспечивают работоспособное состояние при эксплуатации в условиях окружающей среды для изделий I категории (для эксплуатации на открытом воздухе) [8]. Помимо этого, к числу достоинств относятся: низкий уровень шума и вибраций, что важно при работе в городской черте; высокая безопасность; продолжительный срок службы; неприхотливость к обслуживанию.

Результаты и обсуждение

В результате расчета и подбора оптимальных значений рабочего оборудования определены следующие показатели абразивоструйного аппарата:

Производительность: 24 м²/ч;

Расход воздуха: 8.2 м³/мин;

Давление воздуха: 8 бар;

Расход абразива: 930 кг/ч;

Диаметр абразивного шланга: 32 мм;

Диаметр воздушной линии: 50 мм;

Диаметр сопла: 11 мм.

Максимальная грузоподъемность кузова составила 10000 кг, что обеспечивает непрерывность работы в течении рабочего дня.

Для непрерывной подачи абразивного вещества в трубопровод в течении часа, грузоподъемность бака для абразива должна составлять 1000 кг, объем абразивного вещества составит 0,625 м³. Объем бака увеличен до 1 м³ для создания рабочего давления внутри, что облегчает поступление абразива.

Производительность шнекового конвейера, необходимого для наполнения бака абразивным веществом, принята из условия наибольшей загрузки при наименьшем количестве затраченного времени и составила 6000 кг/ч. Таким образом, бак для абразива будет наполняться за 10 минут.

Так как длина шнека не превышает 3 м, установка промежуточных опор не является целесообразным.

Для питания шнекового конвейера используется электродвигатель, который имеет следующие характеристики:

Мощность: 1 кВт;

Число оборотов: 1000 об./мин;

Напряжение: 220В.

Для питания электродвигателя будет использоваться инвертор, который преобразовывает напряжение аккумуляторной батареи 12В в 220В.

Для преобразования выходных параметров электродвигателя используется червячный редуктор с передаточным числом 16.

Для обеспечения необходимого давления используется винтовой компрессор с приводом от дизельного двигателя, который имеет следующие характеристики:

Производительность: 10 м³/мин;

Рабочее давлением 10 бар;

Мощность двигателя: 77 кВт;

Расход топлива: не более 17 кг/час;

Уровень шума: не более 96 дБ.

За счет высокого рабочего давления, создаваемого компрессором, максимальная длина абразивного шланга может составлять 30 – 40 м.

Выводы

Разработанный абразивоструйный аппарат на базе шасси МАЗ-6501 имеет высокую производительность, а за счет автономности обладает возможностью работать в труднодоступных местах.

Использование купершлака позволяет увеличить эффективность и сократить время очистки. Также данный абразив имеет низкую степень пылеобразования, что даёт возможность использовать его без применения специальных пылегасителей.

За счет разделения кузова и бака для абразива, в системе создается необходимое давление для непрерывной работы. За время наполнения бака абразивом (10 мин.) с помощью шнекового конвейера, происходит плановая остановка компрессора, что благоприятно влияет на его работоспособность.

За счет использования системы вентиля, существует возможность регулирования подачи как абразива, так и воздуха, что расширяет функциональные возможности абразивоструйного аппарата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Типовые нормы времени на работы по текущему ремонту жилищного фонда: Постановление №601/28-53, 1987.
2. О введении в действие санитарно-эпидемиологических правил: Постановление №100, 26 мая 2003 г.
3. СП 70.13330.2012 Несущие и ограждающие конструкции, 2013.
4. ГОСТ Р 51929-2002 Услуги жилищно-коммунальные, 2003.
5. ГОСТ Р ИСО 8501-1-2014 Подготовка стальной поверхности перед нанесением лакокрасочных материалов и относящихся к ним продуктов. Визуальная оценка чистоты поверхности. Часть 1. Степень окисления и степени подготовки непокрытой стальной поверхности и стальной поверхности после полного удаления прежних покрытий.
6. ГОСТ Р 52280-2004 Автомобили грузовые. Общие технические требования, 2004.
7. ГОСТ 10704-91 Трубы стальные электросварные прямошовные, 2007.
8. ГОСТ 15150-69 Машины, приборы и другие технические изделия.
9. Козлов Д.Ю. Основы струйной очистки. – Екатеринбург: ИД «Оригами», 2017. – 104 с.
10. Каменихин А.Т. Нанесение декоративных рисунков на стеклоизделия: Учебное пособие для студентов. – М.: сервер кафедры МТ-11 МГТУ имени Н.Э.Баумана, 2006. – 39 с.
11. Рожков М.Ю., Рожков Е.Ю. Использование купершлака для обработки поверхностей фрикционных соединений на высокопрочных болтах // Вестник НИЦ «Строительство». - 2022. – 10 с.
12. Горанский Г.Г., Толстяк Э.Н., Саранцев В.В. УП «Технопарк БИТУ «Метолит»» Разработка технологий и оборудования для подготовки поверхности в уп «ТЕХНОПАРК БИТУ «МЕТОЛИТ»», 2006. – 5 с.
13. Проволоцкий А.Е. Струйно-абразивная обработка деталей машин. – К.: Техника, 1989. – 177 с.
14. Григорьев А.М. Винтовые конвейеры. – М.: Машиностроение, 1972. – 184 с.
15. Волков Р.А. Конвейеры: Справочник / Под общей редакцией Ю.А. Пертена. – Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1984. – 367 с.
16. Спиваковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машины: Учебное пособие для машиностроительных вузов. - 3-е изд. перераб. и доп. – М: Машиностроение, 1983. – 487 с.
17. Тураев Н.С., Брус И.Д., Кантаев А.С. Расчет шнекового транспортера: методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Процессы и аппараты химической технологии» для студентов III курса, обучающихся по специальности 240501 Химическая технология материалов современной энергетики. - Томск: Томский политехнический университет, 2015. – 17 с.
18. Исайчев В.Т. Проектирование и расчет агрегатов и систем автотранспортных средств (трансмиссия): методические указания. – Оренбург: ОГУ, 2013. - 93 с.
19. Анурьев В.И. Справочник – Машиностроителя. - В 3-х томах. - Т. 3. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1967. – 82 с.
20. Кудрявцев С.М., Пачурин Г.В., Соловьев Д.В. Кузов современного автомобиля: монография / под общей редакцией С.М. Кудрявцева. – Н. Новгород, 2010. – 236 с.
21. Великолукский механический завод: официальный сайт [Электронный ресурс]. – Великие Луки, 2023. – Режим доступа: <https://wmz.ru>.

Маташнёв Артём Александрович
КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана
Адрес: Россия, г. Калуга, ул. Никитина, 21
Студент
E-mail: matashnev000@mail.ru

Климович Артём Михайлович
КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана
Адрес: Россия, г. Калуга, ул. Никитина, 21
Студент
E-mail: artem.klimovich.2018@mail.ru

Чудаков Дмитрий Алексеевич
КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана
Адрес: Россия, г. Калуга, ул. Кубяка, 3
Студент
E-mail: chudakovda@student.bmstu.ru

Бульчев Всеволод Валериевич
КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана
Адрес: Россия, г. Калуга, ул. Гагарина, 3
Д.т.н., профессор, заведующий кафедрой колесных машин и прикладной механики
E-mail: vs.bulychev@yandex.ru

DEVELOPMENT OF AN AUTONOMOUS ABRASIVE BLASTING MACHINE BASED ON THE MAZ-6501 CHASSIS

Abstract. This paper presents the results of a study of ways to maintain the technical and sanitary-hygienic condition of objects during municipal or construction works. A variant of an autonomous abrasive blasting machine based on the MAZ-6501 chassis is presented, which is able not only to increase the productivity of current or major repairs by reducing the time for preparatory operations, but also has the ability to work in hard-to-reach places. The study of the properties of abrasive substances made it possible to use materials with higher abrasive ability, hardness and dynamic strength of particles, as a result of this - lower dust formation and the possibility of reuse.

Keywords: abrasive blasting machine, autonomy, preparatory operation, cooperшлак

BIBLIOGRAPHY

1. Tipovye normy vremeni na raboty po tekushchemu remontu zhilishchnogo fonda: Postanovlenie №601/28-53, 1987.
2. O vvedenii v deystvie sanitarno-epidemiologicheskikh pravil: Postanovlenie №100, 26 maya 2003 g.
3. SP 70.13330.2012 Nesushchie i ogradhdayushchie konstruksii, 2013.
4. GOST R 51929-2002 Uslugi zhilishchno-kommunal'nye, 2003.
5. GOST R ISO 8501-1-2014 Podgotovka stal'noy poverkhnosti pred naneseniem lakokrasochnykh materialov i otnosyashchikhsya k nim produktov. Vizual'naya otsenka chistoty poverkhnosti. Chast' 1. Stepen' okisleniya i stepeni podgotovki nepokrytoy stal'noy poverkhnosti i stal'noy poverkhnosti posle polnogo udaleniya prezhnikh pokrytiy.
6. GOST R 52280-2004 Avtomobili gruzovye. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya, 2004.
7. GOST 10704-91 Truby stal'nye elektrosvarnye pryamoshovnye, 2007.
8. GOST 15150-69 Mashiny, pribory i drugie tekhnicheskie izdeliya.
9. Kozlov D.Yu. Osnovy struynoy ochistki. - Ekaterinburg: ID «Origami», 2017. - 104 s.
10. Kamenikhin A.T. Nanesenie dekorativnykh risunkov na stekloizdeliya: Uchebnoe posobie dlya studentov. - M.: server kafedry MT-11 MGTU imeni N.E.Baumana, 2006. - 39 s.
11. Rozhkov M.Yu., Rozhkov E.Yu. Ispol'zovanie kupershlaka dlya obrabotki poverkhnostey friktsionnykh soedineniy na vysokoprochnykh boltakh // Vestnik NITS «Stroitel'stvo». - 2022. - 10 s.
12. Goranskiy G.G., Tolstyak E.N., Sarantsev V.V. UP «Tekhnopark BITU «Metolit»» Razrabotka tekhnologiy i oborudovaniya dlya podgotovki poverkhnosti v up «TEHNOPARK BITU «METOLIT»», 2006. - 5 s.
13. Provolotskiy A.E. Struyno-abrazivnaya obrabotka detaley mashin. - K.: Tekhnika, 1989. - 177 s.
14. Grigor'ev A.M. Vintovye konveyery. - M.: Mashinostroenie, 1972. - 184 s.
15. Volkov R.A. Konveyery: Spravochnik / Pod obshchey redaktsiyey Yu.A. Pertena. - L.: Mashinostroenie, Leningradskoe otdelenie, 1984. - 367 s.
16. Spivakovskiy A.O., D'yachkov V.K. Transportiruyushchie mashiny: Uchebnoe posobie dlya mashinostroi- tel'nykh vuzov. - 3-e izd. pererab. i dop. - M.: Mashinostroenie, 1983. - 487 s.
17. Turaev N.S., Brus I.D., Kantaev A.S. Raschet shnekovogo transportera: metodicheskie ukazaniya k vy- polneniyu laboratornykh rabot po kursu «Protessy i apparaty khimicheskoy tekhnologii» dlya studentov III kursa, obuchayushchikhsya po spetsial'nosti 240501 Himicheskaya tekhnologiya materialov sovremennoy energetiki. - Tomsk: Tomskiy politekhnicheskii universitet, 2015. - 17 s.
18. Isaychev V.T. Proektirovanie i raschet agregatov i sistem avtotransportnykh sredstv (transmissiya): metodicheskie ukazaniya. - Orenburg: OGU, 2013. - 93 s.
19. Anur'ev V.I. Spravochnik - Mashinostroitelya. - V 3-kh tomakh. - T. 3. - 7-e izd., pererab. i dop. - M.: Mashinostroenie, 1967. - 82 s.
20. Kudryavtsev S.M., Pachurin G.V., Solov'ev D.V. Kuzov sovremennogo avtomobilya: monografiya / pod obshchey redaktsiyey S.M. Kudryavtseva. - N. Novgorod, 2010. - 236 s.
21. Velikolukskiy mekhanicheskii zavod: ofitsial'nyy sayt [Elektronnyy resurs]. - Velikie Luki, 2023. - Rezhim dostupa: <https://wmz.ru>.

Matashnev Artem Alexandrovich

KF Bauman Moscow State Technical University
Address: Russia, Kaluga, Nikitina str., 21
Student
E-mail: matashnev000@mail.ru

Chudakov Dmitry Alekseevich

KF Bauman Moscow State Technical University
Address: Russia, Kaluga, Kubyak str., 3
Student
E-mail: chudakovda@student.bmstu.ru

Klimovich Artem Mikhailovich

KF Bauman Moscow State Technical University
Address: Russia, Kaluga, Nikitina str., 21
Student
E-mail: artem.klimovich.2018@mail.ru

Bulychev Vsevolod Valerievich

KF Bauman Moscow State Technical University
Address: Russia, Kaluga, Gagarina str., 3
Doctor of Technical Sciences
E-mail: vs.bulychev@yandex.ru

Научная статья

УДК 656.13

doi:10.33979/2073-7432-2023-3-4(82)-47-52

А.Г. ЛОКТИОНОВА, А.Г. ШЕВЦОВА, Е.В. КОПЫЛОВА, Н.А. ЩЕТИНИН

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗНОРОДНОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГОРОДСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

***Аннотация.** На протяжении более двадцати лет в РФ увеличивается количество зарегистрированных транспортных средств, а транспортный поток городских транспортных систем в большей степени состоит из легковых автомобилей, который от общего состава транспортных средств в потоке составляет порядка 90%. За данный период большие изменения понесли и марки легковых автомобилей, которые характерны для различных округов РФ. С каждым годом легковые транспортные средства модифицируются, улучшаются их технические и динамические характеристики, которые в свою очередь оказывают влияние на процесс движения автомобилей в потоке и поток насыщения в целом. В данной статье рассмотрены и определены динамические показатели легковых автомобилей, оказывающие влияние на функционирование городских транспортных потоков.*

***Ключевые слова:** транспортный поток, легковой автомобиль, калиброванный автомобиль, динамический параметр, ускорение*

Введение

Технические и динамические параметры автотранспортных средств являются первичными данными, которые учитываются во всех методах эффективного функционирования транспортной системы, таких как планирование, организация, контроль, управление. В большей степени первичные данные - параметры транспортного потока применяются при организации мероприятий в методах управления. В городских транспортных системах является основным метод управления, учитывающий также первичные данные – это параметры легковых автомобилей, наиболее часто встречающихся в транспортных потоках. Автомобильный рынок России за последние десятилетия претерпел значительные изменения – наличие разнообразных марок и моделей как отечественных, так и зарубежных автомобилей. Упомянутые автотранспортные средства с каждым годом совершенствуются, в частности, меняются и улучшаются динамические показатели (длина, ширина, высота, мощность, крутящий момент, ускорение и пр) [1]. С учетом данных изменений необходимым является проведение ряда исследований позволяющих определить зависимость и влияние изменения данных показателей на характер движения транспортных средств в транспортном потоке. Влияние динамических показателей легковых автомобилей в рамках данной работы рассмотрим на примере транспортной системы городского административного центра г. Белгород.

Материал и методы

В результате исследования разнородности состава парка легковых автомобилей рассмотрим шесть основных въездных участков, обеспечивающих связь с административным центром – это различные участки, представляющие собой как двухуровневые, кольцевые, регулируемые и прямые участки (рис. 1).

В результате исследования получен общий транспортный поток, который в будние дни недели в среднем составляет 16 000 авт/ч, из числа которого 90 % легковые автомобили различных марок. На каждом исследуемом участке (рис. 1) определены часто встречающиеся марки автомобилей: Lada Granta (19,15 %), Kia Rio (18,59 %), Renault Logan (18,45 %), Lada Vesta (11,84 %), Toyota Camry (11,26 %), Haval Jolion (5,49%), УАЗ Patriot (5,08%), Hyundai Creta (3,94%), Mazda CX-5 (3,53%), Gelly Emgrand (2,67%).

Для данных транспортных средств осуществлены математические расчеты позволяющие определить их динамическую характеристику [2, 3]. Динамическая характеристика представляет собой такие динамические параметры как: скорость движения, быстрота разгона, касательная сила тяги, динамический фактор [2-5].

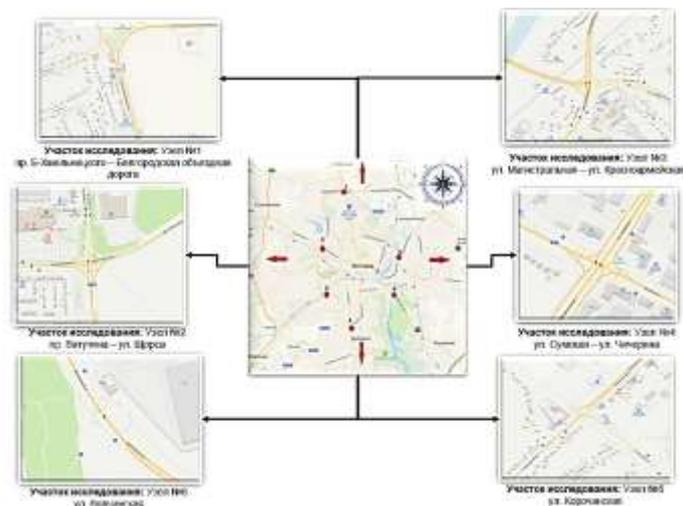


Рисунок 1 - Участки исследования входящих транспортных потоков в г. Белгород

Данные параметры позволяют выполнить оценку не только конструктивных особенностей транспортного средства, но и определить характер его движения [6]. В большей степени изменение состава легковых автомобилей в потоке оказало влияние на динамику движения транспортных средств, что безусловно необходимо учитывать при реализации методов управления в городских транспортных системах.

Теория / Расчет

Так как изменение парка легковых автомобилей оказывает влияние на динамику движения транспортных средств в потоке необходимым является определение изменений такого параметра как ускорение автомобиля. Если ранее были учтены параметры условного автомобиля, включавшего в себя динамические характеристики отечественных автомобилей, преобладавших в потоках более 50 лет назад, в настоящий момент предлагается введение нового показателя как «калиброванный автомобиль», который позволяет расширить ранее используемый показатель условного автомобиля в плане динамических параметров, применительно к процессу управления в городских транспортных системах. Для определения изменений динамического параметра – ускорения, выполнен математический анализ, позволивший получить математическую модель расчета динамического показателя калиброванного автомобиля (формула 1), который применительно к обследуемой территории административного центра г. Белгорода составил 1,4 м/с² (табл. 1) [7-8].

Среднее ускорение калиброванного автомобиля в зависимости от передачи:

$$\sum j_{am} = \begin{cases} \bar{j}_{ai_1} = \frac{j_{a1} + \dots + j_{an}}{n} \\ \bar{j}_{ai_2} = \frac{j_{a1} + \dots + j_{an}}{n} \\ \dots \\ \bar{j}_{ai_5} = \frac{j_{a1} + \dots + j_{an}}{n} \end{cases} \quad (1)$$

$$j_{ak} = \frac{\sum j_{am}}{n} = \frac{\bar{j}_{ai_5}}{n} ,$$

где m – марка ТС;

n – множество значений;

i₁- i₅ – передаточное число КПП;

j_{a1}-j_{an}- ускорение ТС в зависимости от передаточного числа КПП, м/с² (в зависимости от скорости движения v_a ≤ 60 км/ч).

Таблица 1 – Динамический параметр (ускорение) для калиброванного автомобиля

Наименование ТС	Ускорение на передаче (j _{ai})		Общее ускорение (j _{ак})
Калиброванный автомобиль	I	2,35	1,42
	II	1,76	
	III	1,26	
	IV	0,95	
	V	0,82	

Выполненный сравнительный анализ ранее используемых показателей, позволил установить разницу в 9,23 %, что свидетельствует о наличии определенного изменения в динамике движения в городах, несмотря на принятые скоростные ограничения.

Исследование процесса движения на примере управляемого участка показало, что действительно с учетом изменения моделей легковых автомобилей, за последние десятилетия сама физика процесса также модифицировалась, так было установлено, что с учетом применения показателей условного автомобиля, без использования новых показателей, т.е. ситуации как было степень насыщения достигается в основном на 7 автомобиле но с учетом установленных изменений, наблюдений, математического анализа и интерпретации установлено что степень насыщения достигается на 5 автомобиле. В результате получены данные отражающие значения потока насыщения (рис. 2) [9].

При управлении транспортными потоками в городских транспортных системах используется определение потока насыщения, которое позволяет определить значение максимальной пропускной способности полосы движения при светофорном регулировании. Установленная разница динамических характеристик условного автомобиля и калиброванного составившая 9% позволила определить изменение процесса движения автомобилей в потоке и определить новое значение потока насыщения (рис. 3). Установлено применение динамического параметра калиброванного автомобиля соответствующего современным условиям движения что позволяет получить более точное значение потока насыщения 2070 ед/час.



Рисунок 2 - Сравнительный анализ изменения динамического параметра

Для оценки эффективности полученных результатов осуществлено исследование одной из наиболее протяженной улицы города Белгорода, пр. Б. Хмельницкого, и определены существующие режимы управления на пересечениях (табл. 2).

Таблица 2 – Исследование пр. Б. Хмельницкого

№ п/п	Наименование пересечения	Тц, сек. _сущ.*	Тц, сек. _расч. с КА**	Отклонение, %
1	2	3	4	5
1	ул. Кутузова – пр. Богдана Хмельницкого (узел №1)	78	83	6,41%
2	ул. Урожайная – пр. Богдана Хмельницкого (узел №2)	88	90	2,27%
3	ул. Привольная – пр. Богдана Хмельницкого (узел №3)	82	86	4,88%
4	ул. Железнякова – пр. Богдана Хмельницкого (узел №4)	96	100	4,17%
5	ул. Студенческая – пр. Богдана Хмельницкого (узел №5)	110	108	-1,82%
6	ул. Гагарина – пр. Богдана Хмельницкого (узел №6)	82	86	4,88%
7	ул. Мичурина – пр. Богдана Хмельницкого (узел №7)	88	90	2,27%
8	пр. Белгородский – пр. Богдана Хмельницкого (узел №8)	96	100	4,17%
9	ул. Преображенская – пр. Богдана Хмельницкого (узел №9)	88	90	2,27%
10	пр. Славы – пр. Богдана Хмельницкого (узел №10)	110	108	-1,82%

Результаты и обсуждение

В результате расчета управляющих параметров получены новые значения определяемых параметров. Разница полученных результатов в сравнении с существующими варьируется от 2 % до 24 %, как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения значений параметров. На регулируемых пересечениях с учетом параметров калиброванного автомобиля и без его учета, средняя величина отклонения расчетного времени цикла составила 3,45 %,

максимальное отклонение 6,84 %, минимальное 1,85 %. Выполнено моделирование участков с полученными циклами управления [10-13]. Транспортные задержки на пересечениях снижаются в среднем на 10 %.

Выводы

Транспортные потоки разнородны и требуют всестороннего исследования [14-20], в связи с тем, что их динамические показатели оказывают влияние на эффективность функционирования городских транспортных систем [21-25]. Выполненные математические расчеты позволяют вычислить динамические показатели калиброванного автомобиля и реализовать эффективное управление дорожным движением в городской транспортной системе.

Благодарности

Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук и докторов наук МК-4803.2022.4.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Врубель Ю.А. О потоке насыщения. - Минск.: Белорус, политех, ин-т., 1988. -1 с.
2. Бурлуцкая А.Г., Бурлуцкая А.Г., Юнг А.А. Оценка влияния параметров автомобилей на значение потока насыщения // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2022. – №1. – С. 126-134.
3. Клинковштейн Г.И. Организация дорожного движения: учебник для автомобильно-дорожных вузов и факультетов. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1981. – С. 240.
4. Ключников Д.А., Беседин Л.Н. Анализ факторов, влияющих на ускорение и время разгона автомобиля // Ползуновский альманах. – 2009. – №3-2. – С. 159.
5. Локтионова А.Г., Шевцова А.Г. Определение динамического показателя автомобиля в транспортных потоках городской транспортной системы // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – №1-2(80). – С. 37-42. – DOI 10.33979/2073-7432-2023-2(80)-1-37-42.
6. Левашев А.Г. Необходимость уточнения классификации приведения к легковому автомобилю на регулируемом перекрестке // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния: Материалы X междунар. науч.-практ. конф. - Екатеринбург: Комвакс АМБ, 2004. – С. 96-101.
7. Локтионова А.Г., Шевцова А.Г. Оценка технических параметров автомобилей в транспортном потоке // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – №4-2(79). – С. 75-80. – DOI 10.33979/2073-7432-2022-2(79)-4-75-80.
8. Локтионова А.Г., Шевцова А.Г. Разработка подхода к определению параметров калиброванного автомобиля // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации: Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции. – Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ). - 2021. – С. 210-214.
9. Манина Е.Д., Локтионова А.Г. Учет технических характеристик автомобилей при производстве изыскательских работ // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 300-летию Российской академии наук: Сборник докладов Национальной конференции с международным участием. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2022. – С. 207-211.
10. Нормативные требования к конструкции и безопасности колесных транспортных средств, осуществляющих деятельность в транспортно - логистическом комплексе страны: учебное пособие / Новиков А.Н., Новиков И.А., Шевцова А.Г. и др. - 2021. – 145 с.
11. Методические рекомендации по проектированию светофорных объектов на автомобильных дорогах: Отраслевой дорожный методический документ 218.6.003.2011. – Москва, 2013. - 69 с.
12. СНиП 2.05.02-85 Автомобильные дороги: Свод правил от 09.02.
13. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения // М.: Транспорт. - 1977. – С. 303.
14. Технические характеристики автомобилей [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.autowe.ru/>.
15. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/>.
16. Шевцова А.Г., Локтионова А.Г. Оценка методов применения технических и динамических параметров автомобилей в мировой практике // Воронежский научно-технический Вестник. – 2022. – Т. 2. - №2(40). – С. 74-81. – DOI 10.34220/2311-8873-2022-74-81.
17. Evtuykov S.A. Effectiveness of the human factor assessment in the investigation of road accidents // Organization and Safety of Road Traffic in Large Cities: 8th International Conference. - SPb.: SPSUACE. - 2008. - P. 387-389.
18. Lieberman E.B. Determining the Lateral Deployment of Traffic on an Approach to an Intersection // Transportation Research Record 772, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C. – 1980. - P 1-5.
19. Novikov A., Shevtsova A. Method of calculations under traffic lights coordination plan using parameters of passenger cars // Transportation Research Procedia 50. – 2020. – P. 499-506. - doi.org/10.1016/j.trpro.2020.10.059.

20. Novikov A., Katunin A., Novikov I., Shevtsova A. Research of influence of dynamic characteristics for options controlled intersection // *Procedia Engineering*. - 2017. - Т. 187. - С. 664-671.
21. Шевцова А.Г., Мочалина Ю.А. Обзор новых технических средств организации дорожного движения // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. – 2015. – Т. 2. - №2(3). – С. 672-677. – DOI 10.12737/19521.
22. Shevtsova A., Novikov A. Development of an approach to determination of coupling qualities of road covering using weather-climate factor // *Journal of Applied Engineering Science*. – 2021. – Vol. 19. - №1. – P. 30-36. – DOI 10.5937/jaes0-26642.
23. Боровской А.Е., Шевцова А.Г. Исследование степени насыщения пересечения при учете классификации легковых автомобилей // *Автотранспортное предприятие*. – 2014. – №5. – С. 51-53.
24. Козлов П.А., Колокольников В.С., Копылова Е.В. Об имитационном моделировании и имитационных системах // *Транспорт Урала*. – 2019. – №1(60). – С. 3-6. – DOI 10.20291/1815-9400-2019-1-3-6.
25. Копылова Е.В. Значение транспорта для развития городских агломераций // *Устойчивое развитие территорий: Сборник докладов II-ой Международной научно-практической конференции*. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. - 2019. – С. 199-201.

Локтионова Алина Геннадьевна

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Адрес: Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, 46
Аспирант
E-mail: alinbur1995@mail.ru

Шевцова Анастасия Геннадьевна

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Адрес: Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, 46
Д.т.н., доцент, доцент каф. Эксплуатация и организация движения автотранспорта
E-mail: shevcova-anastasiya@mail.ru

Копылова Екатерина Витальевна

Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ))
Адрес: 127018, Россия, г. Москва, Октябрьский пер, д. 7
Д.т.н., доцент, заместитель директора по науке
E-mail: miit.Kopylova@yandex.ru

Щетинин Николай Анатольевич

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Адрес: Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, 46
К.т.н., доцент каф. Эксплуатация и организация движения автотранспорта
E-mail: azrael90@mail.ru

A.G. LOKTIONOVA, A.G. SHEVTSOVA, E.V. KOPYLOVA, N.A. SHCHETININ

INVESTIGATION OF THE HETEROGENEITY OF DYNAMIC INDICATORS OF PASSENGER CARS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF URBAN TRANSPORT SYSTEMS

***Abstract.** For more than twenty years, the number of registered vehicles has been increasing in the Russian Federation, and the traffic flow of urban transport systems mostly consists of passenger cars, which is about 90% of the total number of vehicles in the flow. During this period, the brands of passenger cars that are characteristic of various districts of the Russian Federation have also undergone major changes. Every year passenger vehicles are modified, their technical and dynamic characteristics are improved, which in turn have an impact on the process of moving cars in the flow and the saturation flow as a whole. In this article, the dynamic indicators of passenger cars that influence the functioning of urban traffic flows are considered and determined.*

***Keywords:** traffic flow, passenger car, calibrated car, dynamic parameter, acceleration*

BIBLIOGRAPHY

1. Vrubel' Yu.A. O potoke nasyshcheniya. - Minsk.: Belorus, politekh, in-t., 1988. -1 s.
2. Burlutskaya A.G., Burlutskaya A.G., YUng A.A. Otsenka vliyaniya parametrov avtomobiley na znachenie potoka nasyshcheniya // *Intellekt. Innovatsii. Investitsii*. - 2022. - №1. - S. 126-134.
3. Klinkovshcheyn G.I. Organizatsiya dorozhnogo dvizheniya: uchebnik dlya avtomobil'no-dorozhnykh vuzov i fakul'tetov. - 2-e izd. pererab. i dop. - M.: Transport, 1981. - S. 240.
4. Klyuchnikov D.A., Besedin L.N. Analiz faktorov, vliyayushchikh na uskorenie i vremya razgona avtomobilya // *Polzunovskiy al'manakh*. - 2009. - №3-2. - S. 159.

5. Loktionova A.G., Shevtsova A.G. Opredelenie dinamicheskogo pokazatelya avtomobilya v transportnykh potokakh gorodskoy transportnoy sistemy // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2023. - №1-2(80). - S. 37-42. - DOI 10.33979/2073-7432-2023-2(80)-1-37-42.
6. Levashev A.G. Neobkhodimost' utocneniya klassifikatsii privedeniya k legkovomu avtomobilyu na reguliruemom perekrestke // Sotsial'no-ekonomicheskie problemy razvitiya transportnykh sistem gorodov i zon ikh vliyaniya: Materialy H mezhdunar. nauch.-prakt. konf. - Ekaterinburg: Komvaks AMB, 2004. - S. 96-101.
7. Loktionova A.G., Shevtsova A.G. Otsenka tekhnicheskikh parametrov avtomobiley v transportnom potoke // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2022. - №4-2(79). - S. 75-80. - DOI 10.33979/2073-7432-2022-2(79)-4-75-80.
8. Loktionova A.G., Shevtsova A.G. Razrabotka podkhoda k opredeleniyu parametrov kalibrovannogo avtomobilya // Arkhitekturno-stroitel'nyy i dorozhno-transportnyy kompleksy: problemy, perspektivy, innovatsii: Sbornik materialov VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Omsk: Sibirskiy gosudarstvennyy avtomobil'no-dorozhnyy universitet (SibADI). - 2021. - S. 210-214.
9. Manina E.D., Loktionova A.G. Uchet tekhnicheskikh kharakteristik avtomobiley pri proizvodstve izyskatel'skikh rabot // Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya molodykh uchenykh BGTU im. V.G. Shukhova, posvyashchennaya 300-letiyu Rossiyskoy akademii nauk: Sbornik dokladov Natsional'noy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. - Belgorod: BGTU im. V.G. Shukhova, 2022. - S. 207-211.
10. Normativnye trebovaniya k konstruksii i bezopasnosti kolesnykh transportnykh sredstv, osushchestvlyayushchikh deyatel'nost' v transportno - logisticheskoy komplekse strany: uchebnoe posobie / Novikov A.N., Novikov I.A., Shevtsova A.G. i dr. - 2021. - 145 s.
11. Metodicheskie rekomendatsii po proektirovaniyu svetofornykh ob"ektov na avtomobil'nykh dorogakh: Otrasevyy dorozhnyy metodicheskiy dokument 218.6.003.2011. - Moskva, 2013. - 69 s.
12. SNiP 2.05.02-85 Avtomobil'nye dorogi: Svod pravil ot 09.02.
13. Sil'yanov V.V. Teoriya transportnykh potokov v proektirovanii dorog i organizatsii dvizheniya // M.: Transport. - 1977. - S. 303.
14. Tekhnicheskie kharakteristiki avtomobiley [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <http://www.autowe.ru/>.
15. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://rosstat.gov.ru/>.
16. Shevtsova A.G., Loktionova A.G. Otsenka metodov primeneniya tekhnicheskikh i dinamicheskikh parametrov avtomobiley v mirovoy praktike // Voronezhskiy nauchno-tekhnicheskii Vestnik. - 2022. - T. 2. - №2(40). - S. 74-81. - DOI 10.34220/2311-8873-2022-74-81.
17. Evtuykov S.A. Effectiveness of the human factor assessment in the investigation of road accidents // Organization and Safety of Road Traffic in Large Cities: 8th International Conference. - SPb.: SPSUACE. - 2008. - R. 387-389.
18. Lieberman E.B. Determining the Lateral Deployment of Traffic on an Approach to an Intersection // Transportation Research Record 772, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C. - 1980. - R. 1-5.
19. Novikov A., Shevtsova A. Method of calculations under traffic lights coordination plan using parameters of passenger cars // Transportation Research Procedia 50. - 2020. - R. 499-506. - doi.org/10.1016/j.trpro.2020.10.059.
20. Novikov A., Katunin A., Novikov I., Shevtsova A. Research of influence of dynamic characteristics for options controlled intersection // Procedia Engineering. - 2017. - T. 187. - S. 664-671.
21. Shevtsova A.G., Mochalina YU.A. Obzor novykh tekhnicheskikh sredstv organizatsii dorozhnogo dvizheniya // Alternativnye istochniki energii v transportno-tekhnologicheskoy komplekse: problemy i perspektivy ratsional'nogo ispol'zovaniya. - 2015. - T. 2. - №2(3). - S. 672-677. - DOI 10.12737/19521.
22. Shevtsova A., Novikov A. Development of an approach to determination of coupling qualities of road covering using weather-climate factor // Journal of Applied Engineering Science. - 2021. - Vol. 19. - №1. - P. 30-36. - DOI 10.5937/jaes0-26642.
23. Borovskoy A.E., Shevtsova A.G. Issledovanie stepeni nasyshcheniya peresecheniya pri uchete klassifikatsii legkovykh avtomobiley // Avtotransportnoe predpriyatie. - 2014. - №5. - S. 51-53.
24. Kozlov P.A., Kolokol'nikov V.S., Kopylova E.V. Ob imitatsionnom modelirovanii i imitatsionnykh sistemakh // Transport Urala. - 2019. - №1(60). - S. 3-6. - DOI 10.20291/1815-9400-2019-1-3-6.
25. Kopylova E.V. Znachenie transporta dlya razvitiya gorodskikh aglomeratsiy // Ustoychivoe razvitie territoriy: Sbornik dokladov II-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Moskva: Natsional'nyy issledovatel'skiy Moskovskiy gosudarstvennyy stroitel'nyy universitet. - 2019. - S. 199-201.

Loktionova Alina Gennad'evna

Belgorod State Technological University
Address: Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46
Postgraduate student
E-mail: alinbur1995@mail.ru

Shevtsova Anastasia Gennad'evna

Belgorod State Technological University
Address: Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46
Doctor of technical sciences
E-mail: shevcova-anastasiya@mail.ru

Kopylova Ekaterina Vitalievna

Russian University of Transport (RUT (MIIT))
Address: 127018, Russia, Moscow, Oktyabrskiy lane, 7
Doctor of technical sciences
E-mail: miit.kopylova@yandex.ru

Shchetinin Nikolai Anatolievich

Belgorod State Technological University
Address: Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46
Candidate of technical sciences
E-mail: azrael90@mail.ru

Научная статья

УДК 656.11

doi:10.33979/2073-7432-2023-3-4(82)-53-60

Т.Б. БРЯНСКИХ

МЕТОДИКА ОРГАНИЗАЦИИ ПАРКИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЖИТЕЛЕЙ МНОГОЭТАЖНОЙ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ

***Аннотация.** В статье рассмотрены зависимости количественных характеристик функционирования жилой многоэтажной застройки. Приведены результаты анализа экспериментальных данных транспортного обслуживания жителей многоэтажных домов. Определены зависимости между такими факторами как площадь объекта, средняя доля посетителей, использующих индивидуальный транспорт индивидуального пользования, средняя продолжительность парковки и необходимой парковочной площади многоэтажных жилых домов. В статье представлена разработанная математическая зависимость, с помощью которой рассчитывается необходимая площадь парковочного пространства, которая учитывает продолжительность парковки, удельную генерацию корреспонденций, долю посетителей на индивидуальном транспорте и его наполнение.*

***Ключевые слова:** многоэтажный жилой комплекс, парковочное пространство, транспортный спрос, генерация корреспонденций*

Введение

Проведя анализ уровня автомобилизации России, изучив статистический раздел сайта Госавтоинспекции, и проанализировав данные прошлых лет, можно сделать вывод о стремительном снижении данного показателя. По итогам 2022 года в органах ГИБДД было зарегистрировано 60,45 млн механических транспортных средств. Это всего на 312 тысяч или 0,5 % больше, чем насчитывалось в 2021 году. В 2019–2021 годах автопарк уверенно рос на 1,4–1,9% ежегодно. А если обратиться к более ранней статистике, то до 2018 года показатель уровня автомобилизации увеличивался примерно на 5 % ежегодно [11].

Возможно снижение уровня автомобилизации и современные тенденции развития городов будут способствовать улучшению состояния УДС, но на сегодняшний день проблема существующей нагрузки на УДС и ее постоянный рост весьма актуальна. Провоцирует рост нагрузки на УДС «рост» жилых домов. Происходит уплотнение и увеличение этажности жилой застройки. В крупных городах России средняя этажность – 12,6 этажа.

Целью данной статьи является выявление и исследование факторов, влияющих на необходимую парковочную площадь возле многоэтажных жилых объектов.

Материал и методы

Для достижения поставленной цели необходимы натурные испытания и обработка полученных в ходе них результатов. В исследовании выявляются факторы, влияющие на потребную площадь для парковки. В рамках исследования выявлялись зависимости необходимой площади парковки от средней доли АТИП, площади многоэтажной застройки, средней продолжительности парковки, удельной генерации корреспонденций (рис. 1).

Наибольшее влияние на потребную площадь парковки оказывает средняя доля АТИП, площадь многоэтажной застройки и средняя продолжительность парковки, соответственно, именно эти параметры должны входить в модель оценки потребной площади парковки.

На сегодняшний день потребность в парковочном пространстве определяется нормативным документом «Жилые зоны» СП 42.13330.2016 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений (с Изменениями № 1, 2). В диссертации Зедгенизова А.В. [10] представлены скорректированные зависимости к вышеуказанному документу. В перечисленных источниках потребность в парковании указывается в качестве нормативного числа мест по отношению к площади центра массового тяготения.

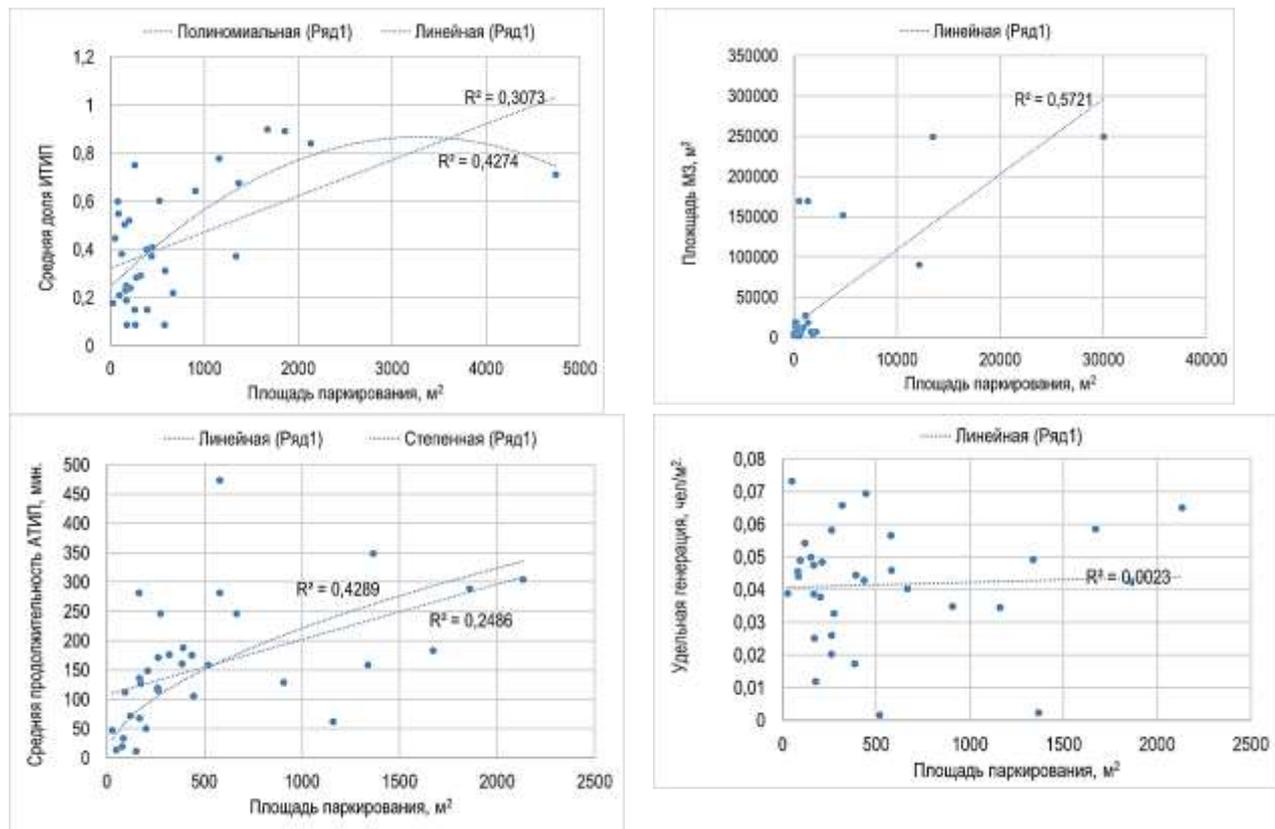


Рисунок 1 - Зависимость площади паркования

а - от средней доли АТИП; б - площади многоэтажной застройки; в - средней продолжительности паркования; г - удельной генерации корреспонденций

Учитывая, прежде всего, данные о продолжительности паркования, полученные в ходе натурных экспериментов, можно предложить математическую зависимость, позволяющую проводить расчет потребной площади. В состав такой зависимости должны войти данные о суточной генерации корреспонденций, доле посетителей на ИТ, наполнения ИТ, коэффициенты суточной неравномерности. Учитывая перечисленные факторы, имеем:

$$S_{\text{п}} = \frac{S_{\text{м}} \cdot G \cdot S \cdot d_{\text{ИТ}} \cdot k_{\text{сн}} \cdot t_{\text{п}}}{e_{\text{ИТ}} \cdot 60}, \quad (1)$$

где $S_{\text{м}}$ – площадь одного машиноместа с учётом проездов, м^2 ;

$d_{\text{ИТ}}$ – доля посетителей на ИТ;

$k_{\text{сн}}$ – коэффициент суточной неравномерности (как правило, для часа с максимальной загрузкой);

$e_{\text{ИТ}}$ – среднее наполнение АТИП, чел.;

G – удельная генерация корреспонденций к МЖЗ, чел/ м^2 ;

$t_{\text{п}}$ – средняя продолжительность паркования АТИП, мин;

60 – переводной коэффициент из минут в часы;

S – площадь МЖЗ, м^2 .

Таким образом, предложенная математическая модель, на основе изысканий [10] позволяет, непосредственно, получить потребную площадь для паркования, что и требуется для принятия градостроительно-транспортных решений.

Расчет

Проведенные натурные эксперименты весьма важны не только для выявления количественных характеристик функционирования жилых объектов, но и для статистического анализа собранных экспериментальных данных. Именно в процессе статистического анализа, уже с математической достоверностью можно говорить о результатах, полученных в виде эмпирических и функциональных зависимостей. Кроме этого, при статистической обработке подготовленных и сгруппированных данных натурального эксперимента важно все полученные

данные выстроить в четкую логическую последовательность и определить очередность их использования с целью получить конечный результат.

Пример выявления основных статистических характеристик одного из наиболее важных параметров модели (1) – средней продолжительности парковки представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Статистические параметры средней продолжительности парковки, мин

Статистический параметр	Значение параметра
Среднеарифметическое	160
Стандартное отклонение	99,9
Минимальное значение	62
Максимальное значение	408
Размах выборки	346

Значительный размах выборки указывает на разную культуру временного хранения автомобилей. В последнее время значительная часть охраняемых автомобильных стоянок, расположенных в непосредственной близости от МЖЗ значительно сократилась в виду её уплотнения.

Следующей весьма важной характеристикой, не только с точки зрения выявления транспортного спроса, но и при установлении интенсивности АТИП, тяготеющих к рассматриваемой территории является доля посетителей (жильцов) использующих АТИП. Данная характеристика, также, как и средняя продолжительность парковки имеет более 1000 зафиксированных экспериментальных значений, что при проведении статистической обработке требует усреднение этих данных по объектам исследования.

В аспекте учёта доли посетителей, использующих АТИП важной характеристикой является среднее наполнение АТИП, которое характеризует, с одной стороны, степень загрузки ИТИП, а с другой служит переводным коэффициентом, показывающим взаимосвязь между интенсивностью АТИП и транспортным спросом. Данная характеристика, также, две предыдущие имеет более 1000 зафиксированных экспериментальных значений, что при проведении статистической обработке требует усреднения этих данных по объектам исследования.

Следует отметить, что максимальная вместимость АТИП с учётом численности зарегистрированных АТИП в РФ составляет 4,25 чел/авт., его среднее значение 1,49. Из этого следует, что АТИП, как правило, используется одним водителем-собственником.

Учитывая, что коэффициенты суточной неравномерности не могут рассматриваться по разным часам суток, одного объекта, то их следует проверить на предмет выбросов в один час, но по разным объектам. В качестве единого часа следует выбрать час пик, однако и в этом случае возможна значительная ошибка, связанная со смещением пиковых периодов в зависимости от удалённости от центра города. Решением такой задачи является выявление коэффициента суточной неравномерности, являющегося максимальным в каждом из исследований. В транспортной терминологии такой коэффициент получил название коэффициента суточного максимума.

Стоит отметить, что коэффициенты суточной неравномерности в практическом аспекте могут быть востребованы не только на максимальный (пиковый) период, хотя при решении задач организации движения важны именно значения суточного максимума, например, при выявлении потребного числа мест для парковки при комбинированном использовании парковочного пространства в вечерние и ночные часы будних дней, а также выходные и праздничные дни ЖМЗ, а в рабочие часы будних дней работниками организаций, расположенных шаговой доступности.

Результаты и обсуждение

Основной целью любого научного исследования является необходимость установления зависимостей, которые можно было бы оценить количественно между такими процессами и явлениями, которые, на первый взгляд, не связаны или, по крайней мере, эта взаимосвязь не проявлена в явном виде.

Транспортное обслуживание МЖЗ, особенно той части, которая использует для удовлетворения спроса на поездки АТИП, требует правильных оценок потребного числа мест для кратковременного хранения АТИП (паркирования). Совершенно очевидно, что АТИП при решении этой задачи должны находиться в шаговой доступности, и лучше всего непосредственно возле МЖЗ или в поле видимости. Для обеспечения этой потребности важно учитывать целый перечень факторов, влияющих на эту потребность: продолжительность паркирования, именно этот параметр определяет основные параметры парковочного места (оборотность парковочного места, продолжительность работы и продолжительность простоя), кроме этого, важны все перечисленные параметры, учитывающие спрос на паркирование или интенсивность АТИП распределённая во времени. Для выбора ключевого фактора, влияющего на потребную площадь необходимо провести корреляционный анализ (табл. 2).

Таблица 2 - Матрица корреляции факторов, влияющих на потребную площадь паркирования АТИП

	Потребная площадь паркирования, м ²	Доля ИТ средняя	Площадь объекта, м ²	Среднее Наполнение ИТ по прибытию, чел	Средняя продолжительность паркирования, мин	Уд. генерация корр., чел/м ²
Потребная площадь паркирования, м ²	1					
Доля ИТ средняя	0,241725	1				
Площадь ЖМЗ, м ²	0,756396	0,309	1			
Среднее наполнение ИТ по прибытию, чел	-0,12498	0,1860	0,20288	1		
Средняя продолжительность паркирования, мин	0,187072	-0,050	0,15844	-0,01162	1	
Удельная генерация корр., чел/м ²	-0,21843	-0,096	-0,5497	-0,23992	-0,06232	1

Из матрицы корреляции видно, что наибольшую корреляционную связь, а, следовательно, и влияние на потребную площадь для паркирования возле ЖМЗ имеет её площадь. Второй по значимости – доля жильцов, использующих АТИП. Таким образом, учитывая, что площадь ЖМЗ является ещё и легко доступным на практике фактором известным из задания на проектирование, то именно этот фактор можно считать основополагающим, а другие корректирующими (вспомогательными). Зависимость потребной площади для паркирования АТИП возле ЖМЗ представлена на рисунке 2.

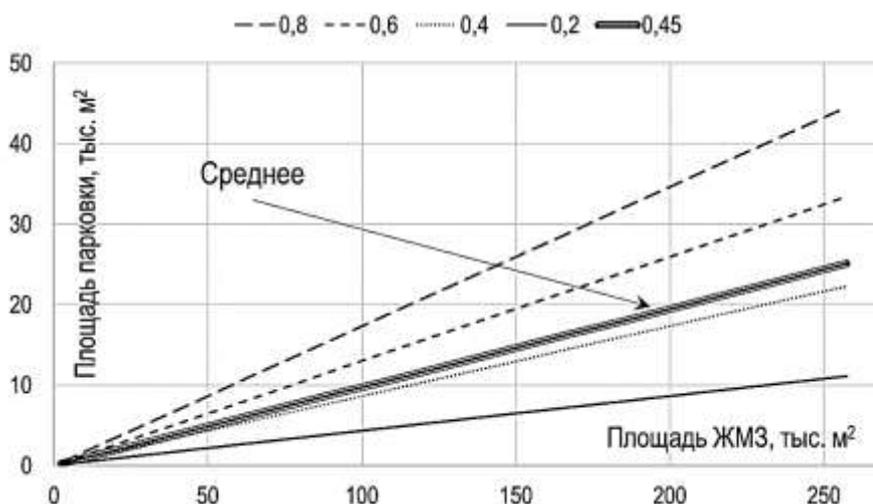


Рисунок 2 - Зависимость потребной площади паркирования АТИП возле ЖМЗ при разной доли АТИП и среднем наполнении АТИП 1,4 чел/ТС; удельной генерации 0,04 чел/м²; коэффициенте суточного максимума 0,148; средней продолжительности паркирования 159 мин

Важно отметить, что предложенная зависимость на графике предполагает вариацию доли жильцов, использующих АТИП в качестве основного вида транспорта, в случае отсутствия такой информации следует использовать тренд с рекомендуемыми (усреднёнными) значениями параметров. Например, при площади ЖМЗ порядка 100 тысяч м², что соответствует жилому микрорайону, потребуется обеспечить около 10 тысяч м² парковочного пространства (1 Га) или примерно 500 парковочных мест или в среднем на каждые 100 м² площади МЖЗ 0,5 парковочных мест, что составляет 10 м² парковочного пространства. В источнике [10] этот показатель представлен для жилья средней этажности (4-9) этажей и составляет 0,36 парковочных мест на каждые 100 м² площади ЖМЗ. Учитывая, что в данном исследовании рассматриваются, в том числе и высокоэтажная застройка, то нивелированное (усреднённое) значение нормативного параметра несколько выше. Это может быть обусловлено, прежде всего, большей долей использования АТИП, по сравнению, с жильём средней этажности, а также увеличением числа квартир в домах с новой планировкой типа квартира-студия, часто площадь таких квартир не превышает 30-40 м². Для аналитического применения графика зависимости на рисунке 2 можно пользоваться соответствующими уравнениями тренда (табл. 3).

Таблица 3 - Уравнения тренда зависимости потребной площади парковки АТИП возле ЖМЗ при разной доле АТИП на потребную площадь парковки АТИП

Уравнение тренда	Доля АТИП
$S_{п} = 0,0433 S_{ЖМЗ}$	0,2
$S_{п} = 0,0866 S_{ЖМЗ}$	0,4
$S_{п} = 0,0974 S_{ЖМЗ}$	0,45
$S_{п} = 0,1298 S_{ЖМЗ}$	0,6
$S_{п} = 0,1731 S_{ЖМЗ}$	0,8

В случае более детального учёта среднего наполнения АТИП можно использовать зависимость, представленной на рисунке 3.

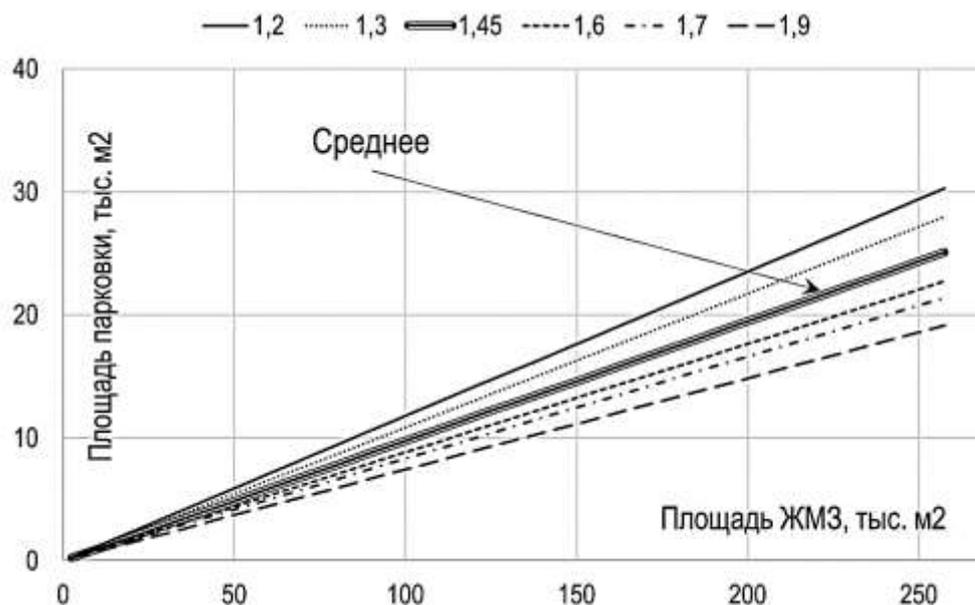


Рисунок 3 - Зависимость потребной площади парковки АТИП возле ЖМЗ при разном наполнении АТИП и средней доли АТИП 0,45; удельной генерации 0,04 чел/м²; коэффициенте суточного максимума 0,148; средней продолжительности парковки 159 мин

Например, при наличии данных о среднем наполнении АТИП не 1,45, а, например, 1,67 может быть задействован тренд, соответствующий наполнению АТИП 1,7, что при той же площади в МЖЗ в 100 тыс. м², потребует обеспечения 8,5 тыс. м² парковки или при-

мерно 425 парковочных места. Уравнения тренда рассматриваемой зависимости представлены в таблице 4.

Таблица 4 - Уравнения тренда зависимости потребной площади парковки АТИП возле ЖМЗ при разном наполнении АТИП на потребную площадь парковки АТИП

Уравнение тренда	Среднее наполнение АТИП
$S_{п} = 0,1177 S_{ЖМЗ}$	1,2
$S_{п} = 0,1086 S_{ЖМЗ}$	1,3
$S_{п} = 0,0974 S_{ЖМЗ}$	1,45
$S_{п} = 0,0882 S_{ЖМЗ}$	1,6
$S_{п} = 0,0831 S_{ЖМЗ}$	1,7
$S_{п} = 0,0743 S_{ЖМЗ}$	1,9

Кроме этого, важным параметром варьирования является средняя продолжительность парковки, если имеются данные о вариации этого параметра, то можно пользоваться трендами, представленными на рисунке 4.

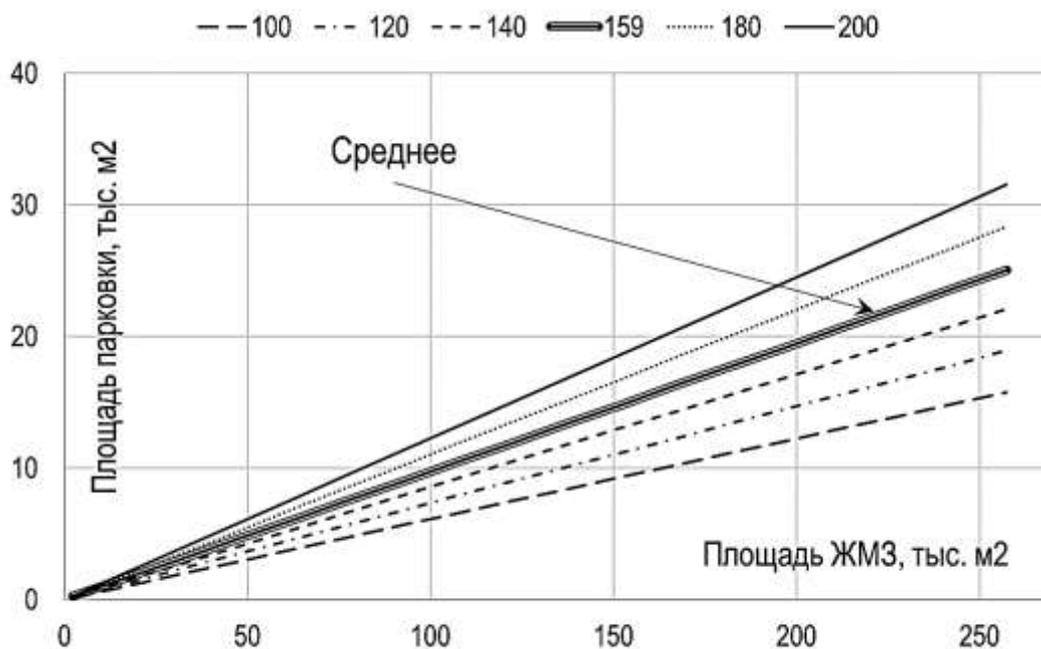


Рисунок 4 - Зависимость потребной площади парковки АТИП возле ЖМЗ при разной продолжительности парковки; среднем наполнении АТИП 1,45; средней доли АТИП 0,45; удельной генерации 0,04 чел/м2; коэффициенте суточного максимума 0,148.

Уравнения тренда рассматриваемой зависимости представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Уравнения тренда зависимости потребной площади парковки АТИП возле ЖМЗ при разной продолжительности парковки на потребную площадь парковки АТИП

Уравнение тренда	Средняя продолжительность парковки, мин.
$S_{п} = 0,0612 S_{ЖМЗ}$	100
$S_{п} = 0,0735 S_{ЖМЗ}$	120
$S_{п} = 0,0857 S_{ЖМЗ}$	140
$S_{п} = 0,0974 S_{ЖМЗ}$	159
$S_{п} = 0,1102 S_{ЖМЗ}$	180
$S_{п} = 0,1225 S_{ЖМЗ}$	200

Выводы

Таким образом, для практической оценки, потребной площади парковки АТИП имеется весь необходимый инструментарий, в том числе и при вариации основных параметров математической модели, что позволит уже на стадии проектов застройки и уплотнения застройки учитывать реальные возможности урбанизированных территорий и при необходимости осуществлять их корректировку со строительством дополнительных паркинговых этажей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вавринчук П.А., Рябкова Е.Б. Паркинг - основное решение дефицита парковочных мест // Новые идеи нового века - 2014. - Том -2. - 53 с.
2. Вукан Р. Вучик. Транспорт в городах, удобных для жизни. - Изд-во «Территория будущего», 2011.
3. Галузова М.С., Лучком В.И. Проблема конфликта и компромисса транспорта и городской площади // Новые идеи нового века - 2011: Материалы Тринадцатой международной научной конференции ИАС ТОГУ. - В 2 т. - Хабаровск: Тихоокеан. гос. ун-т. - 2013. - Т. 1. - С. 161-165.
4. Галузова М.С., Лучком В.И. Проблема конфликта и компромисса транспорта и городской площади // Новые идеи нового века - 2011: Материалы Тринадцатой международной научной конференции ИАС ТОГУ. - В 2 т. - Хабаровск: Тихоокеан. гос. ун-т. - 2013. -Т. 1. С. 161-165.
5. Глушкин А.Н. Соколянский В.В. Проблемы паркинга // Актуальные проблемы современной науки. - 2015. - №4(83). - С. 192-193.
6. Зедгенизов А.В. Организация дорожного движения на основе оценки транспортного спроса к центрам массового тяготения по параметрам их расположения на урбанизированных территориях // Транспортное планирование и моделирование: сб. тр. IV Междунар. науч.-практ. конф. – СПб.: СПбГАСУ, 2019. – С. 68-73.
7. Зедгенизов А.В. Оценка транспортного спроса по параметрам функционирования центров массового тяготения на урбанизированных территориях // Мир транспорта и технологических машин. - №3(66). - 2019. – Орёл: ОГУ имени И.С. Тургенева. – 2019. – С. 91-97.
8. Зедгенизов А.В. Оценка факторов, влияющих на продолжительность парковки возле территорий/центров массового тяготения разной функциональной направленности // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – Вып. 1 (44). - 2016. – С. 100-105.
9. Зедгенизов А.В. Повышение эффективности дорожного движения на остановочных пунктах городского пассажирского транспорта: Дис. ... канд. техн. наук. – Иркутск, 2008.
10. Коммерсантъ [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.kommersant.ru/doc/5842351?from>
11. Киричук В.В., Грунев Д.В. Решение проблемы нехватки парковочных мест [Электронный ресурс] / Студенческий научный форум 2015: VII Международная студенческая электронная научная конференция. - Режим доступа: <https://www.scienceforum.ru/2015/883/7275>.
12. ОДМ 218.2.020-2012. Методические рекомендации по оценке и прогнозированию характеристик транспортного спроса при проектировании организации дорожного движения и планировании развития транспортной инфраструктуры. - М.: РОСАВТОДОР, 2012. – 148 с.
13. Преловская Е.С. К вопросу о городской мобильности в современном градостроительстве // Современные тенденции развития науки и технологий. – 2016. – №4-3. – С. 135-136.
14. Прогнозирование развития застройки центров крупных городов на основе анализа реализации проектной документации: сб. научных тр. / под ред. К.Ф. Неустроева, Б.Е. Смирнова. – М.: ЦНИИП град-ва, 1988.
15. СНиП 2.07.01.89* - Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. - Москва, 1994.
16. Соловьев К.В., Кузьмина Д.В. Сравнительный анализ способов организации парковочного пространства в мегаполисах [Электронный ресурс] / Молодой ученый. - 2016. - №29(133). - С. 155-158. – Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/133/37148/>
17. Уровень урбанизации мира [Электронный ресурс] / Информационная инициатива по продвижению целей устойчивого развития «TheWorldOnly». - Режим доступа: <https://theworldonly.org/uroven-urbanizatsii-mira/>
18. Хуснутдинова С.Р., Дембич А.А., Закирова Ю.А. Социально-экологические факторы формирования комфортной среды урбанизированных территорий // Географический вестник. – 2016. – №4(39). – С. 28-35. – DOI: 10.17072/2079-7877-2018-2-62-71.
19. Якимов М.Р. Концепция транспортного планирования и организации движения в крупных городах: монография. – Пермь: Перм. гос. техн. ун-т, 2011. – 175 с.

Брянских Татьяна Борисовна

Иркутский национальный исследовательский технический университет

Адрес: 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Старший преподаватель кафедры строительных, дорожных машин и гидравлических систем

E-mail: broocha@yandex.ru

T.B. BRYANSKIKH

METHODOLOGY OF ORGANIZATION OF PARKING OF CARS FOR INDIVIDUAL USE OF RESIDENTS OF MULTI-STORY RESIDENTIAL BUILDINGS

Abstract. The article considers the dependences of quantitative characteristics of the functioning of residential multi-storey buildings. The results of the analysis of experimental data on transport services for residents of multi-storey buildings are presented. The dependences between such factors as the area of the object, the average proportion of visitors using individual transport for individual use, the average duration of parking and the required parking area of multi-storey residential buildings are determined. The article presents the developed mathematical dependence, with the help of which the required parking space area is calculated, which takes into account the duration of parking, the specific generation of correspondence, the proportion of visitors on individual transport and its filling.

Keywords: multi-storey residential complex, parking space, transport demand, correspondence generation

BIBLIOGRAPHY

1. Vavrinchuk P.A., Ryabkova E.B. Parking - osnovnoe reshenie defitsita parkovochnykh mest // *Novye idei novogo veka* - 2014. - Tom -2. - 53 s.
2. Vukan R. Vuchik. Transport v gorodakh, udobnykh dlya zhizni. - Izd-vo «Territoriya budushchego», 2011.
3. Galuzova M.S., Luchkom V.I. Problema konflikta i kompromissa transporta i gorodskoy ploshchadi // *Novye idei novogo veka* - 2011: Materialy Trinadtsatoy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii IAS TOGU. - V 2 t. - Habarovsk: Tikhookean. gos. un-t. - 2013. - T. 1. - S. 161-165.
4. Galuzova M.S., Luchkom V.I. Problema konflikta i kompromissa transporta i gorodskoy ploshchadi // *Novye idei novogo veka* - 2011: Materialy Trinadtsatoy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii IAS TOGU. - V 2 t. - Habarovsk: Tikhookean. gos. un-t. - 2013. - T. 1. S. 161-165.
5. Glushkin A.N., Sokolyanskiy V.V. Problemy parkinga // *Aktual'nye problemy sovremennoy nauki*. - 2015. - №4(83). - S. 192-193.
6. Zedgenizov A.V. Organizatsiya dorozhnogo dvizheniya na osnove otsenki transportnogo sprosa k tsentram massovogo tyagoteniya po parametram ikh raspolozheniya na urbanizirovannykh territoriyakh // *Transportnoe planirovanie i modelirovanie: sb. tr. IV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. - SPb.: SPbGASU, 2019. - S. 68-73.*
7. Zedgenizov A.V. Otsenka transportnogo sprosa po parametram funktsionirovaniya tsentrov massovogo tyagoteniya na urbanizirovannykh territoriyakh // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. - №3(66). - 2019. - Oriol: OGU imeni I.S. Turgeneva. - 2019. - S. 91-97.
8. Zedgenizov A.V. Otsenka faktorov, vliyayushchikh na prodolzhitel'nost' parkovki vozle territoriy/tsentrov massovogo tyagoteniya raznoy funktsional'noy napravlenosti // *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI)*. - Vyp. 1 (44). - 2016. - S. 100-105.
9. Zedgenizov A.V. Povyshenie effektivnosti dorozhnogo dvizheniya na ostanovochnykh punktakh gorodskogo passazhirskogo transporta: Dis. ... kand. tekhn. nauk. - Irkutsk, 2008.
10. Kommersant [Elektronnyy resurs] / *Rezhim dostupa: <https://www.kommersant.ru/doc/5842351?from>*
11. Kirichuk V.V., Grunev D.V. Reshenie problemy nekhvatki parkovochnykh mest [Elektronnyy resurs] / *Studencheskiy nauchnyy forum 2015: VII Mezhdunarodnaya studencheskaya elektronnyaya nauchnaya konferentsiya*. - *Rezhim dostupa: <https://www.scienceforum.ru/2015/883/7275>*.
12. ODM 218.2.020-2012. Metodicheskie rekomendatsii po otsenke i prognozirovaniyu kharakteristik transportnogo sprosa pri proektirovanii organizatsii dorozhnogo dvizheniya i planirovanii razvitiya transportnoy infrastruktury. - M.: ROSAVTODOR, 2012. - 148 s.
13. Prelovskaya E.S. K voprosu o gorodskoy mobil'nosti v sovremennom gradostroitel'stve // *Sovremennye tendentsii razvitiya nauki i tekhnologii*. - 2016. - №4-3. - S. 135-136.
14. Prognozirovaniye razvitiya zastroyki tsentrov krupnykh gorodov na osnove analiza realizatsii proektnoy dokumentatsii: sb. nauchnykh tr. / pod red. K.F. Neustroeva, B.E. Smirnova. - M.: TSNIIP grad-va, 1988.
15. SNiP 2.07.01.89* - Gradostroitel'stvo. Planirovka i zastroyka gorodskikh i sel'skikh poseleniy. - Moskva, 1994.
16. Solov'ev K.V., Kuz'mina D.V. Sravnitel'nyy analiz sposobov organizatsii parkovochnogo prostranstva v megapolisakh [Elektronnyy resurs] / *Molodoy uchenyy*. - 2016. - №29(133). - S. 155-158. - *Rezhim dostupa: <https://moluch.ru/archive/133/37148/>*
17. Uroven' urbanizatsii mira [Elektronnyy resurs] / *Informatsionnaya initsiativa po prodvizheniyu tseley ustoychivogo razvitiya «TheWorldOnly»*. - *Rezhim dostupa: <https://theworldonly.org/uroven-urbanizatsii-mira/>*
18. Husnutdinova S.R., Dembich A.A., Zakirova Yu.A. Sotsial'no-ekologicheskie faktory formirovaniya komfortnoy sredy urbanizirovannykh territoriy // *Geograficheskyy vestnik*. - 2016. - №4(39). - S. 28-35. - DOI: 10.17072/2079-7877-2018-2-62-71.
19. Yakimov M.R. Kontseptsiya transportnogo planirovaniya i organizatsii dvizheniya v krupnykh gorodakh: monografiya. - Perm': Perm. gos. tekhn. un-t, 2011. - 175 s.

Bryanskikh Tatyana Borisovna

Irkutsk National Research Technical University
Address: 664074, Russia, Irkutsk, Lermontova str., 83
Senior lecturer
E-mail: broocha@yandex.ru

Научная статья
УДК 656.2 : 004.8 + 06
doi:10.33979/2073-7432-2023-3-4(82)-61-69

Е.А. ЧЕБОТАРЕВА

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ИНТУИЦИИ В ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМАХ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ

***Аннотация.** Обоснована необходимость развития механизмов трансляции естественного интеллекта специалиста-эксперта в подсистемы принятия решений при оперативном управлении железнодорожными перевозками. Уточнен и систематизирован необходимый категориальный аппарат исследования, в том числе исследованы понятия: естественный и искусственный интеллект, сложные процедуры принятия решений, интуиция в применении к задаче принятия решений при управлении транспортными системами. Раскрыты проблемы организационно-технологической надежности функционирования интеллектуальных транспортных систем, а именно, синтеза интеллекта человека и машины в блоках принятия решений. Дан обзор математического инструментария моделирования интуиции.*

***Ключевые слова:** транспортные системы, железнодорожный транспорт, интеллектуальные технологии, искусственный интеллект, процедура принятия решения, интуиция, сети Байеса, надежность принимаемого решения*

Введение

В настоящее время идет активное формирование общей методологии и алгоритмов применения искусственного интеллекта применительно к различным функциональным областям транспортной отрасли: в строительстве, обеспечении безопасности, эксплуатации, обучении и др. [1-3]. Основные задачи и стратегические вызовы в вопросах цифровизации и интеллектуализации транспортных систем и в целом экономики страны отражены в ключевых положениях программы «Цифровая экономика Российской Федерации», в Указе Президента Российской Федерации от 10.10.2019 г. №490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» и др.. Развитие транспортной отрасли невозможно без новых технических и технологических решений, но еще более важными остаются задачи повышения организационно-технологической надежности транспортно-технологических систем за счет развития интеллектуальных систем управления. Система управления транспортной отраслью призвана решать сложнейшую задачу координации огромного числа участников перевозок, структурных подразделений транспорта, образующих транспортный конвейер. Особенно сложные задачи по составлению планов транспортной работы, разработки графиков движения и планов подвода поездов и судов в припортовых транспортно-технологических системах (ПТТС), координации работы различных видов транспорта и организации транспортного производства с использованием человеко-машинных систем. Применение искусственного интеллекта в задачах управления транспортными системами может изменить процессы принятия решения с учетом переноса управленческих функций, выполняемых традиционно только диспетчерским аппаратом.

Несмотря на имеющиеся нормативные документы и технологические основы работы железнодорожного транспорта (план формирования поездов, график движения поездов, система организации работы локомотивов и локомотивных бригад, техническое нормирование и др.) суточные и оперативные планы составляются только с учетом фактического наличия груза, поездного положения на участках и станциях, размеров движения и других параметров, которые значительно отличаются от установленных нормативов. Поэтому задачи управления железнодорожными транспортными системами имеют неопределенную среду принятия решений. Прокомментируем сложность процедур принятия решений в транспортных системах (ТС) на примере ПТТС [4-8]. На всех этапах организации деятельности и функционирования ПТТС, а это: структурный синтез (определение состава участников перевозочного процесса, объектов необходимой инфраструктуры, развитие транспортных маршрутов и т.д.), установление базовых параметров перевозочного процесса (типы и объемы перевозок), орга-

низация взаимодействия видов транспорта (снижение негативных эффектов конкуренции и повышение положительного синергетического эффекта совместной работы), формирование технологического процесса доставки грузов в условиях высокой динамики экспортных грузопотоков, слабой предсказуемости форс-мажорных ситуаций (например, неблагоприятная для погрузки-разгрузки погода в порту) роль лица, принимающего ответственное решение (ЛПР), трудно переоценить.

В связи с вышеуказанным выделим основные цели работы: обоснование необходимости развития механизмов трансляции естественного интеллекта специалиста-эксперта в подсистемы принятия решений при оперативном управлении железнодорожными перевозками, систематизация и уточнение категориального аппарата исследования, категорирование существующих информационных систем оперативного управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте по возможности трансляции в синтезируемые транспортные системы искусственного интеллекта, анализ проблем организационно-технологической надежности функционирования интеллектуальных транспортных систем, а именно, синтеза интеллекта человека и машины в блоках принятия решений, обзор математического инструментария моделирования интуиции.

Материал и методы

Важнейшим фактором принятия решений ЛПР является его интуиция. Действительно, логически принимаемые решения требуют репрезентативных данных (полных, объективных, слабо зашумленных) и четкого, непротиворечивого алгоритма принятия решений. Эти условия в большинстве задач, возникающих в ПТТС (нестационарных, высоко динамичных, зашумленных), нет. Поэтому интуиция, основанная на опыте специалиста и оперирующая образами, является порой единственным средством принятия решений. Обладая рядом несомненных преимуществ, машинные средства принятия решений (практически неограниченная память, высокая скорость обработки информации, отсутствие факта физиологического устания, эмоциональности, страха за последствия принятого решения и пр.) могут лучше воспользоваться интеллектуальным опытом человека и тем самым повысить безопасность и эффективность (производственную, экономическую, социальную, экологическую) транспортных систем. Для этого надо интуицию человека транслировать в машинные блоки принятия решений. Таким образом, осуществляется ускоренная интеллектуализация ТС, в данном случае на основе трансляции в их машинные блоки принятия решений естественного интеллекта специалиста-эксперта [9]. В [10] верно отмечено, что практическое применение методов искусственного интеллекта (ИИ) в инженерном деле, находится с исторической точки зрения еще на начальном этапе, поэтому в настоящее время важна оценка степени реализации его потенциала, обоснование необходимости развития механизмов трансляции естественного интеллекта специалиста-эксперта в подсистемы принятия решений при управлении железнодорожными перевозками, уточнение и систематизирование необходимого категориального аппарата в рамках понятий: естественный и искусственный интеллект, сложные процедуры принятия решений, машинный интеллект, персональный и коллективный интеллекты, сильный и слабый ИИ, интуиция.

Формирование интуиции в рамках идеологии искусственного интеллекта (ИИ) основывается на: базах данных, базах знаний, специальной цифровой платформы для извлечения данных и знаний сферы принятия решений из этих баз, формирования интуитивного мышления и интуитивных решений. Математическая основа этому может формироваться различными средствами. К ним можно отнести [9, 14, 15, 22-24]:

- Теория нечетких множеств (ТНМ). Изучая механизм принятия решения диспетчерским аппаратом в различных задачах оперативного управления железнодорожных перевозок, при отсутствии четкого регламента и наличия неопределенной среды принятия решения, отмечается, что данная им оценка риска наступления события чаще всего происходит в формате – риск «отсутствует», «не высокий», «средний», «высокий» и т.д.

Указанные лингвистические переменные используются активно в *теории нечетких множеств* (ТНМ), в которой также присутствуют нечеткие рассуждения, присущие челове-

ку. В ее логических выражениях типа «Если верно А, то верно и В» как раз и заключается механизм интуитивного принятия решений человеком. То есть, в данном случае посредством модели ТНМ происходит передача ЕИ машине.

- Теория распознавания образов (ТРО), моделирующая образы прошлого (то есть, опыта субъекта) в данной сфере знаний, различной степени «смутности». Величина «смутности» с одной стороны коррелирует с неопределенностью задачи, с другой – со временем накопления опыта. Последний опыт снижает степень «смутности». Оценить величину «смутности» принимаемого решения, использовать ее в алгоритмах машинного принятия решений можно различными путями: с помощью функций принадлежности ТНМ, а также посредством введения степени достоверности высказываний и утверждений, предложенной Демстером-Шефером.

- Введение Лукасевичем многозначной логики позволило преодолеть ограничивающий принцип двузначности, согласно которому всякое высказывание является либо истинным, либо ложным, что на практике не всегда выполнимо. А в рассуждениях человека многозначная логика активно используется для принятия сложных решений.

- Теория перколяции, моделирующая интуицию, как составную часть инсайта. В физике перколяция описывает слабо предсказуемые скачкообразные переходы одного качества объекта в другое (возникновение электрического разряда, прорыв плотины, обрушение горных пород и т.д.). Данный математический инструментарий может быть эффективно использован для описания перехода от незнания к знанию.

- Теория игр (ТИ), в частности: игры, описывающие рефлексивность (логику рассуждений, учитывающую мысли и позицию оппонента по предмету взаимодействия), и игры с природой, описывающие конкуренцию и сотрудничество сторон.

- Нейро-нечеткие модели. Нейробиологи из Франции сделали неожиданное открытие: мозг приматов, столкнувшись с нестандартной ситуацией, создает особый вид нейронной сети. Нейронные связи в данном случае формируются не на основе уже существующих статистических наблюдений (традиционный принцип обучения современных нейросетей), а на нестандартных, не предусмотренных эволюцией ситуациях. Это позволяет носителю такой сети подстраиваться под новую ситуацию и правильно себя вести в будущем. Иначе, ЛПР обучается не на опыте своей жизни, а на своих «фантазиях».

- Компьютерное моделирование интуиции. В исследовании [24] рассмотрены методологические вопросы компьютерного моделирования интуиции и предложено при описании интуитивных процессов ориентироваться «на сложные семантические сети, адресованные к фреймам с XML-таблицами данных с указателями на параметры настроек нейронных сетей и нечеткие диапазоны данных». В основу поиска решения положено векторно-броуновское блуждание частицы на фазовой плоскости. В пространстве исследования авторы формируют кластеры знаний и данных, присущие выявленным закономерностям. Модель учитывает: направления поиска решения (с помощью коэффициента векторизации k); объем опыта (через радиусы R формируемых кластеров); время жизни кругов опыта T (аналог человеческой индивидуальной и общественной памяти); число шагов обучения N (учитывается зависимость $R(T)$).

- Сети Байеса, которые в этом ряду инструментария занимают особое место. Им посвящен следующий этап анализа.

Теория / Расчет

В настоящее время развитие технологий искусственного интеллекта (ИИ) на железнодорожном транспорте можно отметить в следующих важных сферах (рис. 1):

- оптимизация расхода топлива (энергии) [11, 12]. При этом отслеживаются данные об изменении профиля пути, веса поезда и др. факторы, влияющие на параметры движения поезда. Это позволяет корректировать как режим движения поезда, вести построение энерго-сберегающих графиков движения поездов.

- управление движением поезда [13]. В данном случае вопрос не ограничивается внедрением автопилота и контролем за состоянием машиниста. ИИ помогает предвидеть потенциально возможные и исправить ошибочные действия машиниста.



Рисунок 1 – Сферы применения искусственного интеллекта (ИИ) на железнодорожном транспорте

- мониторинг и профилактическое обслуживание объектов инфраструктуры [14, 15].
- видеонаблюдение на подвижном составе, которое позволяет обеспечить безопасность функционирования оборудования и сохранность грузов, безопасность обслуживающего персонала и окружающих, экономические параметры среды. В контексте поставленной задачи роль ИИ иная: обеспечить синтез естественного интеллекта и преимуществ машинной обработки информации в задачах принятия сложных организационных решений по управлению ТС, оценить надежность принимаемых решений.

Современные исследования показывают возможность и необходимость интеграции интуиции и искусственного интеллекта в процесс принятия организационных решений, в связи с этим важны исследования по оценке организационно-технологической надежности (ОТН) [17, 18] функционирования интеллектуальных транспортных систем. Искусственный интеллект фундаментально меняет процессы принятия решений в организации. Обладая способностями к самообучению и повышению качества решений, ИИ теперь берет на себя многие обязанности по принятию решений, которые раньше возлагались только на людей. Однако эффективность ИИ в условиях плохо структурированной и неопределенной среды принятия решений все еще под вопросом. В таких контекстах принятия решений, которые не имеют прецедентов, на которых можно основывать решения, люди исторически полагались на свою интуицию при принятии решений. В производственных задачах интуицию еще называют «профессиональным чутьём», характеризующим проницательность (способность «видеть» будущее) специалиста. Что же мы понимаем под интуицией?

Интуиция – «способность человека понимать и проникать в смысл событий и ситуаций посредством единомоментного бессознательного вывода – озарения. Интуиция основана на человеческом воображении, эмпатии и предшествующем опыте» [16].

Интуиция – и безотчетное, стихийное, непосредственное чувство, основанное на предшествующем опыте и подсказывающее правильное понимание; чутье [19].

Ключевые слова этих определений, которые необходимо отразить в модельных конструкциях: бессознательность вывода, озарение, воображение, эмпатия, и главное – предшествующий опыт. Цифровая трансформация железнодорожной системы предопределяет необходимость категорирования существующих информационных систем оперативного управления перевозочным процессом с участием железнодорожного вида транспорта по возможности трансляции в синтезируемые транспортные системы искусственного интеллекта. Подобные исследования велись научными коллективами [20], однако охватывали только область интеллектуализации логистического взаимодействия в системе «железнодорожная станция-порт». В рамках задач оперативного управления области интеллектуализации управления перевозочным процессом можно выделить в зависимости и от решаемых задач, характера и полигона охвата принимаемого решения и др. параметров (табл. 1).

Таблица 1 – Примеры категорирования существующих информационных систем оперативного управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте по возможности трансляции в синтезируемые транспортные системы искусственного интеллекта

№	Область охвата	Существующие информационные системы управления перевозками в ОАО «РЖД»	Задействованные эксперты
1	Сеть дорог	Динамическая модель загрузки инфраструктуры (ДМЗИ)	Работники Территориального центра фирменного транспортного обслуживания, отдела сроков доставки, разработки плана формирования и др.
2		ГИД УРАЛ ВНИИЖТ	Поездной диспетчер, работники отдела разработки графика движения поездов
3	Железная дорога	Автоматизированная система управления местной работой АСУ МР	Диспетчер по регулированию вагонного парка
4	Железная дорога-порт	Дорожная информационно-логистическая система ДИЛС	Диспетчер логистического центра
5	Станция	АСУ СТ, СКАТИС ГИР	Маневровый диспетчер, дежурный по станции
6	Станция-грузовой фронт	АСУ СТ	Грузовой диспетчер, маневровый диспетчер, дежурный по станции

Реализация сквозных технологий на транспорте (формирование транспортных коридоров, доставка грузов «от двери к двери», принцип «одного окна») потребовала развития процессного подхода, который в свою очередь обеспечивается универсальным инструментарием исследования, которым является теория ОТН [17].

Отличительными особенностями ОТН являются:

1. Исследование надежности, зависящей не от технического состояния составляющих элементов объекта, а от организации транспортного процесса, от процедур его реализации.

2. Использование в ОТН не системных моделей ТС (иерархическая схема связей между элементами, сильная зависимость между ними, функционально-территориальный принцип управления), а сетевых представлений ТС. Это позволяет снять ряд системных ограничений, и тем самым расширить круг исследуемых ТС.

3. Расширение ряда вероятностно подобных мер, описывающих стохастичность поведения ТС. Например, наряду с нормальным законом распределения случайных событий, ОТН использует двух параметрический закон бета-распределения. Он более адаптируем в задачах моделирования и прогнозирования ТС, лучше отражает субъективное видение транспортных проблем управленца и эксперта.

4. В качестве численных оценок метода ОТН использует ряд показателей, среди которых следует выделить:

- коэффициент готовности объекта исследования [21]:

$$k = T / (T + \sum t_{oti}), \quad (1)$$

где T – время безотказной работы объекта;

t_{oti} – время отказа i -ого элемента объекта;

- среднее значение случайной величины «ожидаемое время окончания работ» – производственный показатель;

- дисперсия случайной величины «ожидаемое время окончания работ» как показатель неопределенности ситуации;

- вероятность завершения работ в сетевой модели в установленный срок, как показатель надежности сетевой модели, но не процедуры принятия решений.

Последнее обстоятельство приводит к выводу о необходимости разработки показателя надежности принимаемого решения в сложных ТС. Для демонстрации рассмотрим моделирование интуиции с помощью сетей Байеса. Сети Байеса (СБ) основаны на формуле Байеса:

$$P(B/A) = P(A \wedge B) / P(A), \quad (2)$$

где $P(B/A)$ – вероятность появления события B при условии, что событие A верно.

В [23] представлена логика построения алгоритма, моделирующего интуицию конкретного исследователя посредством построения соответствующей СБ:

1. Исследователь определяет цель – оцениваемую базовую переменную.

2. Назначает основные (причинные, управляющие) переменные, которые влияют на базовую переменную (управляемую переменную).

3. Определяет дополнительные переменные, косвенно влияющие на управляющие и управляемые переменные.

4. Назначается шкала измерения для каждой из переменных.

5. Определяются: первоначальные условные вероятности наступления события В при условии, что перед этим произойдет событие А; переходные вероятности (из одного состояния системы в другое).

6. Осуществляется обучение сети (накопление опыта) за счет увеличения размера выборки и уточнения исходных условных вероятностей.

7. Проводится верификация модели: исследование ее точности и пригодности построенной сети для работы на новых выборках и в новые условия.

Примеров применения СБ для моделирования интуиции при принятии решений в ТС нет. Можно назвать несколько важных сфер применения в ТС результатов, выше описанных работ:

- при решении конфликтных ситуаций на транспорте. Например, на сортировочной горке произошел сбой. Кто несет за него ответственность: разработчик системы автоматизации; служба, обеспечивающая безопасную работу систем автоматизации; «движенцы», эксплуатирующие горку и систему управления ею?;

- взаимодействие реальных агентов ПТТС в перспективе должно быть заменено взаимодействием виртуальных агентов на некоторой цифровой платформе, реализующей идеи Интернета вещей (в данном случае людей);

- в аналогичных ЦП, используемых для обеспечения своевременного обслуживания (технического осмотра и ремонта) объектов инфраструктуры. В этом Интернете вещей взаимодействующими «вещами» будут специалисты и оборудование.

В более общем виде формула Байеса формулируется следующим образом:

$$P(A \wedge B) = P(B/A) \cdot P(A) = P(A/B) \cdot P(B). \quad (3)$$

Это означает, что вероятность совместного появления событий A и B равна или произведению вероятностей появления события A и события B при условии, что событие A состоялось или произведению вероятностей появления события B и события A при условии, что событие B состоялось. Дальнейшее использование (3) зависит от содержательного смысла событий A и B и от имеющейся информации о них. Например:

- если известны (априори или статистически рассчитываемы) $P(B/A)$ и $P(A)$ или $P(A/B)$ и $P(B)$, то можно определить $P(A \wedge B)$ по (3);

- если известны $P(A \wedge B)$ и $P(A)$, то можно выразить и найти $P(B/A)$;

- если известны $P(A \wedge B)$ и $P(B/A)$, то можно выразить и найти $P(A)$ и т.д. У Попова в [23] событие A представлено полной группой частных несовместных событий $A_i, i = 1, \dots, n$:

$$A = \sum_1^n A_i. \quad (4)$$

В частности A_i – ответы на вопросы эксперта (врача, таможенника, полицейского и т.д.). Это индикаторы, а результат – В (болезнь; свершившееся нарушение регламента провоза товара, общественного порядка и т.д.). Тогда по формуле полной вероятности:

$$P(B) = \sum_1^n P(B/A_i)P(A_i). \quad (5)$$

Здесь $P(A_i)$ – вероятность появления индикатора в общей массе испытаний, а $P(B/A_i)$ – вероятность появления результата при появлении данного признака-индикатора. Они считаются известными из практики при стационарном течении процесса.

Результаты и обсуждение

При структурных изменениях ситуации (пандемия, экономический или политический кризис, война и т.д.) эти вероятности меняются и требуется адаптация системы принятия решения (перерасчет названных выше базовых вероятностей). Его можно организовать итерационной процедурой. И здесь машинный способ принятия решений будет иметь преимущества перед человеком (большие: оперативность, точность, быстрое действие, память). При использовании СБ в решении практических задач, следует учитывать ограничения (которые, в общем присутствуют и в других постановках): независимость и полнота набора индикаторов A_i , аддитивность процесса (базовое, но не очевидное, свойство вероятностного подхода). В (2) и (5) в качестве события B примем событие, заключающееся в том, что решение принято верно.

Тогда $P(B)$ и $P(B/A)$ – вероятности этого события, которые далее и будем называть надежностью принимаемых решений. Введем сложное событие $A = UA_i, i = 1, 2, \dots, n$. Здесь A_i – событие-индикатор состояния в порту ПТТС: A_1 – «погода нормальная», A_2 – «на море волнение», A_3 – «на море сильное волнение», A_4 – «на море шторм». То есть в

нашем примере $n = 4$. На момент завершения транзита груза в порту ПТТС ожидается следующая обстановка (метеосводка): $P(A_1) = 0,5$; $P(A_2) = 0,3$; $P(A_3) = 0,1$, $P(A_4) = 0,1$.

Пусть также известно (по результатам статистических наблюдений – опыт работы ПТТС), что $P(B/A_1) = 1$, $P(B/A_2) = 0,6$, $P(B/A_3) = 0,3$, $P(B/A_4) = 0$.

Рассчитаем по (5) $P(B) = 1 \cdot 0,5 + 0,6 \cdot 0,3 + 0,3 \cdot 0,1 + 0,1 \cdot 0 = 0,71$.

Результат, очевидно, не может быть принят как нормальная работа ПТТС. Необходим комплекс мер, повышающих вероятность успешного завершения процесса доставки груза. К ним могут быть отнесены: мероприятия по долгосрочному изменению $P(B/A_i)$ (например, строительство закрытых бухт, углубление фарватера и т.д.); оперативные мероприятия по изменению графика подвода груза на припортовые станции. Здесь: изменение порядка погрузки грузов и/или ускорение-замедление доставки с целью попадания в благоприятный период работы порта.

Развитие технологий искусственного интеллекта на транспорте, т.е. технологий, основанных на использовании искусственного интеллекта, включая компьютерное зрение, обработку естественного языка, распознавание и синтез речи, интеллектуальную поддержку принятия решений и перспективные методы искусственного интеллекта, – сложнейшие научно-технологические задачи.

Выводы

В данном исследовании рассмотрены вопросы интеллектуальной поддержки принятия решений в оперативном управлении перевозочным процессом на железнодорожном транспорте, выполнены следующие задачи исследования:

1) актуализирована задача принятия сложных решений в транспортных системах в условиях высокой априорной неопределенности, дефицита времени на принятие решения, высокой размерности задачи управления, сильно зашумленных исходных данных. Решение поставленной задачи предлагается осуществить за счет трансляции опыта и интуиции специалиста-эксперта в машинные блоки принятия решений;

2) проведены систематизация и уточнение категориального аппарата исследования транспортных систем в части понятий: искусственный интеллект на транспорте, принятие решений, интуиция специалиста-эксперта;

3) акцентированы особенности и проблемы исследования организационно-технологической надежности функционирования интеллектуальных транспортных систем. Показана необходимость введения численного показателя надежности принимаемого решения, позволяющего осуществлять сравнение и градацию потенциально возможных решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Постолит А.В. Перспективы применения искусственного интеллекта и компьютерного зрения в транспортных системах и подключенных автомобилях [Электронный ресурс] / Мир транспорта. – 2021. - 19(1). - 74-90. – Режим доступа: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-1-74-90>
2. Мальшев М.И. Использование возможностей искусственного интеллекта для выявления повреждённых грузов по внешнему виду упаковки при выполнении логистических операций [Электронный ресурс] / Мир транспорта. – 2022. - 20(4). - 61-72. – Режим доступа: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4>
3. Петренко К.К. Искусственный интеллект как решение прогностических проблем на железнодорожном транспорте на примере компании ОАО «РЖД» // Национальная ассоциация ученых. - №1. – 2017. - С. 41-43
4. Zubkov V.N., Ryazanova E.V., Evgeniia Chebotareva. Increasing the capacity of the stressed sections of the north Caucasus railway in the south of Russia // Transportation Research Procedia: 10th International Scientific Siberian Transport Forum. – Novosibirsk. - 2022. - Т. 63. – P.1717-1726. - DOI 10.1016/j.trpro.2022.06.186.
5. Chislov O.N., Zadorozhnyi V., Chebotareva E. [et al.]. Methodological Bases of Modeling and Optimization of Transport Processes in the Interaction of Railways and Maritime Transport // Modern Traffic Engineering in the System Approach to the Development of Traffic Networks: 16th Scientific and Technical Conference on Transport Systems - Theory and Practice (TSTP). - Poland. - 2020. - Т. 1083. - P79-89. - DOI 10.1007/978-3-030-34069-8_7.
6. Vakulenko S.P., Kurenkov P.V., Chebotareva E. [et al.] Influence of innovative elements of railway infrastructure complex on the technology of the transport process // Transportation Research Procedia: 14th International Scientific Conference on Sustainable. - 2021. - Т. 55. – P. 342-347. - DOI 10.1016/j.trpro.2021.06.040.
7. Zubkov V.N., Musienko N.N., Anoshkin K.V. The Prospective Model of Organization of Freight Transportation on the North Caucasian Railway Range // Lecture Notes in Networks and Systems: International School on Neural Networks. - 2023. - Vol. 510. – P. 543-554. - DOI 10.1007/978-3-031-11051-1_54.
8. Zubkov V.N., Musienko N.N., Ryazanova E.V., Anoshkin K.V. Drivers and barriers to the development of freight transportation at the South-West polygon of ОАО «russian railways» // AIP Conference Proceedings: 5th International Scientific Conference on Intelligent Information Technologies for Industry. - 2022. - Т. 2389. - С. 020002. - DOI 10.1063/5.0064002.
9. Lyabakh N., Kolesnikov M., Shapovalova Y., Shapovalov V. Collective Intelligence Formation of Transport Complexes Management Based on the Application of the Theory of Active Systems // Proceedings of the

Fifth International Scientific Conference «Intelligent Information Technologies for Industry». - Vol 330. - 2022. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-87178-9> 63.

10. Лёвин Б.А., Пискунов А.А., Поляков В.Ю., Савин А.В. Применение искусственного интеллекта для транспортного строительства: инженерные и образовательные аспекты [Электронный ресурс] / Мир транспорта. – 2022. - 20(1). - 74-79. – Режим доступа: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-9>

11. Малахов С.В., Капустин М.Ю. Оперативное нормирование энергоресурсов на тягу поездов с использованием метода искусственных нейронных сетей [Электронный ресурс] / Мир транспорта. – 2020. -18(1). - 158-169. – Режим доступа: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-158-169>

12. Wenliang Zhou, Yu Huang, Lianbo Deng, Jin Qin Collaborative optimization of energy-efficient train schedule and train circulation plan for urban rail / Energy. – Vol. 263. - Part A. – 2023. - 125599.

13. Концепция реализации комплексного научно-технического проекта «Цифровая железная дорога» [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://company.rzd.ru/ru/9397/page/104069?id=56885>

14. Лябах Н.Н., Гибнер Я.М. Разработка интеллектуальной системы мониторинга технического состояния устройств и объектов сортировки составов и автомата советчика по их техническому обслуживанию // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование – ИСУЖТ-2016: Труды V научно-практической конференции с международным участием. - Москва. - 2016. - С. 173-175

15. Лябах Н.Н., Сарьян А.С. Автомат-советчик прогнозируемого технического обслуживания подвижных объектов железнодорожного транспорта // Транспорт: наука, техника, управление. – №8. - 2018. - С. 12-15.

16. Юнг К.Г. Тэвистокские лекции. Аналитическая психология: её теория и практика. - Пер. с англ. В.И. Менжулина. – М: АСТ, 2009. – 252 с.

17. Верескун В.Д. Организационно-технологическая надежность и эффективность функционирования производственных объектов железнодорожного транспорта. – Новосибирск: СГУПС, 2010. – 256 с.

18. Vinod U. Vincent Integrating intuition and artificial intelligence in organizational decision-making Business Horizons. – Vol. 64. – 2021. – P. 425-438.

19. Малый академический словарь [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://gufo.me/dict/mas>

20. Vyacheslav Zadorozhniyab, Oleg Chislovab, Maksim Kolesnikov, Maksim Bakalov, Vladimir Khan. Methodological principles of modeling and intellectualization of logistic interaction in the «railway stationport system» // Transportation Research Procedia. – Vol. 63. – 2022. – P. 1690-1699.

21. Шприц М.А. Оперативная оценка организационно-технологической надежности строительных объектов // Международный научно исследовательский журнал. - №04(58). – Ч. 4. - С. 126-128.

22. Белов Н.Н. Компьютерное моделирование процессов интуиции // Системный анализ, управление и обработка информации. – С. 15-20.

23. Попов А.Ю. Моделирование опыта с помощью сетей Байеса как метод исследования интуиции // Вестник ЮурГУ. - №29. – 2011. - Серия «Психология». – Вып. 14. – С. 4-11.

24. Комиссаров Г.Г., Авакянц Г.С., Мазо М.А. Известное-неизвестное: модели перехода границы и их компьютерный анализ // Тезисы доклада Современная химическая физика. XII симпозиум. – Туапсе. – 2000. - 93 с.

Чеботарева Евгения Андреевна

Ростовский государственный университет путей сообщения

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

К.т.н., доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой»

E-mail: Abrosimova@ya.ru

E.A. CHEBOTAREVA

SIMULATION OF THE ELEMENTS OF PROFESSIONAL INTUITION IN HUMAN-MACHINE SYSTEMS FOR SOLVING THE PROBLEMS OF OPERATIONAL MANAGEMENT OF RAILWAY TRANSPORT

Abstract. *The necessity of developing mechanisms for translating the natural intelligence of a specialist-expert into decision-making subsystems in the operational management of rail transportation is substantiated. The necessary categorical apparatus of research has been clarified and systematized, including the concepts of natural and artificial intelligence, complex decision-making procedures, intuition as applied to the problem of decision-making in the management of transport systems. The problems of organizational and technological reliability of the functioning of intelligent transport systems, namely, the synthesis of human and machine intelligence in decision-making blocks, are disclosed. A review of mathematical tools for modeling intuition is given.*

Keywords: *transport systems, railway transport, intelligent technologies, artificial intelligence, decision-making procedure, intuition, Bayesian networks, decision reliability*

BIBLIOGRAPHY

1. Postolit A.V. Perspektivy primeneniya iskusstvennogo intellekta i komp`yuternogo zreniya v transportnykh sistemakh i podklyuchennykh avtomobilyakh [Elektronnyy resurs] / Mir transporta. - 2021. - 19(1). - 74-90. - Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-1-74-90>

2. Malyshev M.I. Ispol'zovanie vozmozhnostey iskusstvennogo intellekta dlya vyyavleniya povrezhdionnykh gruzov po vneshnemu vidu upakovki pri vypolnenii logisticheskikh operatsiy [Elektronnyy resurs] / *Mir transporta*. - 2022. - 20(4). - 61-72. - Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4>
3. Petrenko K.K. Iskusstvennyy intellekt kak reshenie prognosticheskikh problem na zheleznodorozhnom transporte na primere kompanii OAO «RZHD» // *Natsional'naya assotsiatsiya uchenykh*. - №1. - 2017. - S. 41-43
4. Zubkov V.N., Ryazanova E.V., Evgeniia Chebotareva. Increasing the capacity of the stressed sections of the north Caucasus railway in the south of Russia // *Transportation Research Procedia: 10th International Scientific Siberian Transport Forum*. - Novosibirsk. - 2022. - T. 63. - P.1717-1726. - DOI 10.1016/j.trpro.2022.06.186.
5. Chislov O.N., Zadorozhnyi V., Chebotareva E. [et al.]. Methodological Bases of Modeling and Optimization of Transport Processes in the Interaction of Railways and Maritime Transport // *Modern Traffic Engineering in the System Approach to the Development of Traffic Networks: 16th Scientific and Technical Conference on Transport Systems - Theory and Practice (TSTP)*. - Poland. - 2020. - T. 1083. - P.79-89. - DOI 10.1007/978-3-030-34069-8_7.
6. Vakulenko S.P., Kurenkov P.V., Chebotareva E. [et al.] Influence of innovative elements of railway infrastructure complex on the technology of the transport process // *Transportation Research Procedia: 14th International Scientific Conference on Sustainable*. - 2021. - T. 55. - P. 342-347. - DOI 10.1016/j.trpro.2021.06.040.
7. Zubkov V.N., Musienko N.N., Anoshkin K.V. The Prospective Model of Organization of Freight Transportation on the North Caucasian Railway Range // *Lecture Notes in Networks and Systems: International School on Neural Networks*. - 2023. - Vol. 510. - P. 543-554. - DOI 10.1007/978-3-031-11051-1_54.
8. Zubkov V.N., Musienko N.N., Ryazanova E.V., Anoshkin K.V. Drivers and barriers to the development of freight transportation at the South-West polygon of OAO «russian railways» // *AIP Conference Proceedings: 5th International Scientific Conference on Intelligent Information Technologies for Industry*. - 2022. - T. 2389. - S. 020002. - DOI 10.1063/5.0064002.
9. Lyabakh N., Kolesnikov M., Shapovalova Y., Shapovalov V. Collective Intelligence Formation of Transport Complexes Management Based on the Application of the Theory of Active Systems // *Proceedings of the Fifth International Scientific Conference «Intelligent Information Technologies for Industry»*. - Vol 330. - 2022. - Rezhim dostupa: https://doi.org/10.1007/978-3-030-87178-9_63.
10. Liovin B.A., Piskunov A.A., Polyakov V.Yu., Savin A.V. Primenenie iskusstvennogo intellekta dlya transportnogo stroitel'stva: inzhenernye i obrazovatel'nye aspekty [Elektronnyy resurs] / *Mir transporta*. - 2022. - 20(1). - 74-79. - Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-9>
11. Malakhov S.V., Kapustin M.YU. Operativnoe normirovanie energoresursov na tyagu poezdov s ispol'zovaniem metoda iskusstvennykh neyronnykh setey [Elektronnyy resurs] / *Mir transporta*. - 2020. - 18(1). - 158-169. - Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-158-169>
12. Wenliang Zhou, Yu Huang, Lianbo Deng, Jin Qin Collaborative optimization of energy-efficient train schedule and train circulation plan for urban rail / *Energy*. - Vol. 263. - Part A. - 2023. - 125599.
13. Kontseptsiya realizatsii kompleksnogo nauchno-tehnicheskogo proekta «Tsvirovaya zheleznaya doroga» [Elektronnyy resurs] / *Rezhim dostupa: https://company.rzd.ru/ru/9397/page/104069?id=56885*
14. Lyabakh N.N., Gibner Ya.M. Razrabotka intellektual'noy sistemy monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya ustroystv i ob'ektov sortirovki sostavov i avtomata sovetchika po ikh tekhnicheskomu obsluzhivaniyu // *Intellektual'nye sistemy upravleniya na zheleznodorozhnom transporte. Komp'yuternoe i matematicheskoe modelirovanie - ISUZHT-2016: Trudy V nauchno-prakticheskaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiem*. - Moskva. - 2016. - S. 173-175
15. Lyabakh N.N., Sar'yan A.S. Avtomat-sovetchik prognoziruемого tekhnicheskogo obsluzhivaniya podvizhnykh ob'ektov zheleznodorozhnogo transporta // *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie*. - №8. - 2018. - C. 12-15.
16. Yung K.G. Tevistokskie lektsii. Analiticheskaya psikhologiya: eio teoriya i praktika. - Per. s angl. V.I. Menzhulina. - M: AST, 2009. - 252 s.
17. Vereskun V.D. Organizatsionno-tekhnologicheskaya nadezhnost' i effektivnost' funktsionirovaniya proizvodstvennykh ob'ektov zheleznodorozhnogo transporta. - Novosibirsk: SGUPSa, 2010. - 256 s.
18. Vinod U. Vincent Integrating intuition and artificial intelligence in organizational decision-making *Business Horizons*. - Vol. 64. - 2021. - P. 425-438.
19. Malyy akademicheskii slovar' [Elektronnyy resurs] / *Rezhim dostupa: https://gufo.me/dict/mas*
20. Vyacheslav Zadorozhniyab, Oleg Chislovab, Maksim Kolesnikov, Maksim Bakalov, Vladimir Khan. Methodological principles of modeling and intellectualization of logistic interaction in the «railway stationport system» // *Transportation Research Procedia*. - Vol. 63. - 2022. - P. 1690-1699.
21. Shprints M.A. Operativnaya otsenka organizatsionno-tekhnologicheskoy nadezhnosti stroitel'nykh ob'ektov // *Mezhdunarodnyy nauchno issledovatel'skiy zhurnal*. - №04(58). - CH. 4. - S. 126-128.
22. Belov N.N. Komp'yuternoe modelirovanie protsessov intuitsii // *Sistemnyy analiz, upravlenie i obrabotka informatsii*. - S. 15-20.
23. Popov A.Yu. Modelirovanie opyta s pomoshch'yu setey Bayesa kak metod issledovaniya intuitsii // *Vestnik YUurGU*. - №29. - 2011. - Seriya «Psikhologiya». - Vyp. 14. - S. 4-11.
24. Komissarov G.G., Avakyants G.S., Mazo M.A. Izvestnoe-neizvestnoe: modeli perekhoda granitsy i ikh komp'yuternyy analiz // *Tezisy doklada Sovremennaya khimicheskaya fizika. XII simpozium*. - Tuapse. - 2000. - 93 s.

Chebotareva Evgeniia Andreevna

Rostov State Transport University (RSTU)

Address: 344038, Russia, Rostov-on-Don, sq. Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolchenia, 2

Candidate of technical sciences

E-mail: Abrosimova@ya.ru

Научная статья
УДК 656.015
doi:10.33979/2073-7432-2023-3-4(82)-70-76

Л.Е. КУЩЕНКО, А.С. КАМБУР

ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗА АВАРИЙНОСТИ С УЧАСТИЕМ ПЕШЕХОДОВ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация. Проведен подробный анализ дорожно-транспортных происшествий с участием пешеходов за 2018-2022 гг. на территории Белгородской области. Выявлено распределение наездов на пешеходов по дням недели, по месяцам, по месту совершения происшествия, по видам пешеходных переходов. Указаны основные правонарушения водителей и пешеходов, в следствие которых наступает дорожное происшествие. Предложены профилактические организационно-технические мероприятия для повышения безопасности пешеходов.

Ключевые слова: распределение, пешеходный переход, дорожно-транспортное происшествие, погибшие, раненые, нарушение

Введение

Вопрос о безопасности движения пешеходов очень актуален. Именно эта категория участников дорожного движения (ДД) представляет собой особую опасность и незащищенность. Дети, подростки, пожилые люди, люди в алкогольном или наркотическом опьянении, а также велосипедисты, «электросамокатчики» и «гаджеточники» зачастую даже не стремятся объективно оценить дорожную ситуацию и тем более удостовериться в том, что им «уступили дорогу» и предоставили преимущество в движении на регулируемом или нерегулируемом пешеходном переходе (согласно п. 4.5 Правил дорожного движения) [1, 15].

Сумерки, темное время суток, условия ограниченной видимости, отсутствие светоотражающих элементов только усугубляют ситуацию, повышая риски наезда на пешеходов.

Водители транспортных средств (ТС) в свою очередь еще более халатно относятся к соблюдению ПДД, скоростному режиму, предоставлению преимуществ пешеходу. Проезд на запрещающий сигнал светофора не становится исключением в нарушениях, что также подвергает опасности участников ДД на регулируемых пешеходных переходах [2, 9, 12].

Материал и методы

Согласно информационно-аналитическому обзору Научного центра безопасности дорожного движения (НЦ БДД) МВД России за 2022 год, наезд на пешеходов является вторым по частоте в РФ видом происшествий на дорогах (27,6 %), на который приходится четверть (25,8 %) от общего числа погибших в ДТП [3-4, 11].

Анализируя статистику аварийности установлено, что в осенне-зимний период количество наездов на пешеходов стремительно увеличивается. Основная причина такой тенденции заключается в сокращении светового дня, ухудшении погодных условий, что сопровождается увеличением тормозного пути за счет снижения сцепления автомобиля с дорожным покрытием [5-7, 10, 13].

По данным исследования НЦ БДД выяснилось, что применение светоотражающих элементов на одежде позволяет сократить количество ДТП в темное время суток в 6,5 раз, но в 79 % случаев наезда на пешеходов в темное время суток светоотражающие элементы отсутствуют [8, 14, 16-17].

Теория

На территории Белгородской области происходят ДТП по различным причинам с различной степенью тяжести и последствий.

Анализ проведен на основе официальных данных ГИБДД по Белгородской области за период 2018-2022 гг.

В 2018 г. на территории Белгородской области зарегистрировано было 369 ДТП (-1,7 %), связанных с наездами на пешеходов, в которых погибло 51 чел. (-12,4 %), получили ранения 332 чел. различной степени тяжести (-0,8 %).

Рассматривая 2019 г. было отмечено, что на территории Белгородской области количество наездов на пешеходов сократилось и составило 354 ДТП (-4,2 %), в которых погибло 36 чел. (-41,6 %), получили ранения 339 чел. различной степени тяжести (+1,1 %).

В 2020 г. и в 2021 г. на территории Белгородской области наблюдается сокращение количества наездов на пешеходов.

В 2020 г. совершено 311 ДТП (-12,1 %), в которых погибло 41 чел. (+13,8 %), получили ранения 285 чел. различной степени тяжести (-15,9 %).

В 2021 г. совершено 253 ДТП (-18,6 %), в которых погибло 32 чел. (-21,9 %), получили ранения 230 чел. различной степени тяжести (-19,3 %).

Рассматривая 2022 г. было отмечено, что на территории Белгородской области количество наездов на пешеходов увеличилось и составило 267 ДТП (+5,5 %), в которых погибло 35 чел. (+9,4 %), получили ранения 247 чел. различной степени тяжести (+7,4 %).

На рис. 1 представлены основные показатели аварийности из-за наездов на пешеходов на территории Белгородской области за 2018-2022 гг.

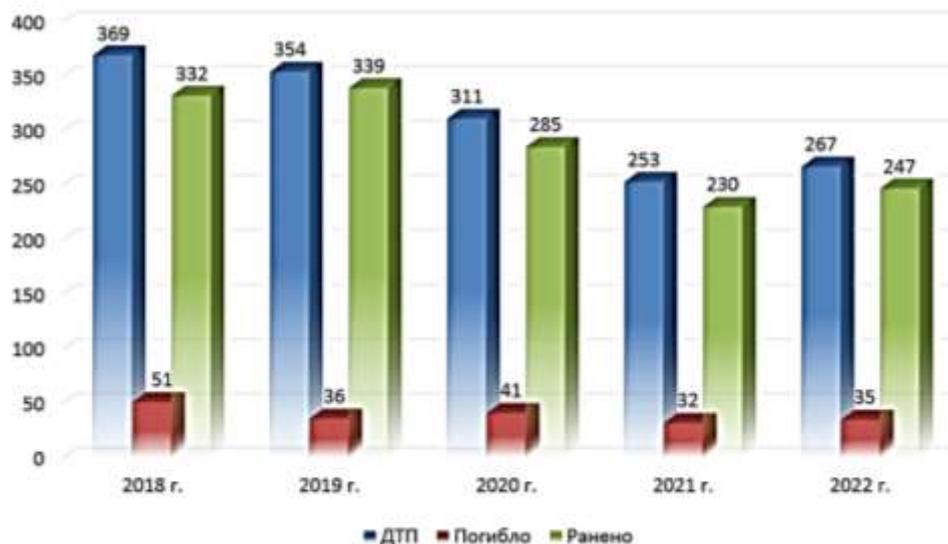


Рисунок - 1 Основные показатели аварийности из-за наездов на пешеходов за период 2018-2022 гг.

Распределение пешеходных переходов (ПП) и наездов на пешеходов в зависимости от вида ПП представлено на рисунке 2.

В 2018 г. на территории области на нерегулируемых ПП было совершено 97 ДТП, в которых 102 чел. получили ранения, 17 чел. погибли. На регулируемых ПП было совершено 62 наезда, в которых 63 чел. получили ранения, 6 чел. погибли.

В 2019 г. на территории области количество ДТП с наездами на пешеходов сократилось и составляет: на нерегулируемых ПП 88 ДТП, в которых 93 чел. получили ранения, 14 чел. погибли; на регулируемых ПП - 57 наездов, в которых 55 чел. получили ранения, 5 чел. погибли.

В 2020 г. напротив наблюдается увеличение показателей наездов на пешеходов на территории области: на нерегулируемых ПП совершено 93 ДТП, в которых 97 чел. получили ранения, 12 чел. погибли; на регулируемых ПП совершено 59 наездов, в которых 61 чел. получили ранения, 7 чел. погибли.

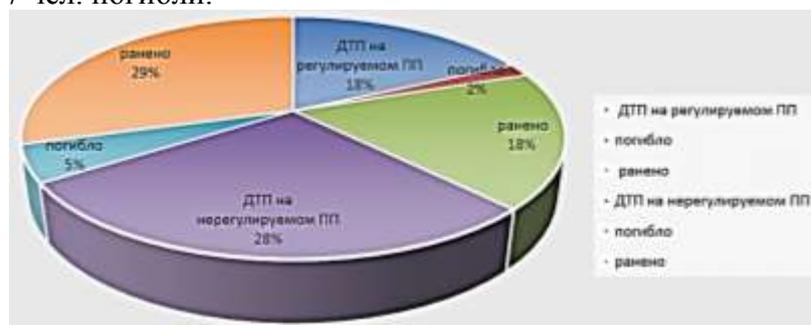


Рисунок – 2 Распределение пешеходных переходов и наездов на пешеходов в зависимости от вида пешеходного перехода за период 2018-2022 гг.

В 2021 г. и в 2022 г. статистика ДТП с участием пешеходов на регулируемых и нерегулируемых ПП улучшается.

В 2021 г. на нерегулируемых ПП совершено 84 ДТП, в которых 92 чел. получили ранения, 11 чел. погибли; на регулируемых ПП совершено 53 наезда, в которых 58 чел. получили ранения, 4 чел. погибли.

В 2022 г. на нерегулируемых ПП совершено 86 ДТП, в которых 94 чел. получили ранения, 13 чел. погибли; на регулируемых ПП совершено 54 наезда, в которых 60 чел. получили ранения, 6 чел. погибли.

Распределение наездов на пешеходов и погибших в них в зависимости от места совершения представлено на рисунке 3.

В 2018 г. в городах и населенных пунктах совершено 197 ДТП с участием пешеходов (-2,3 %), в которых 187 чел. ранены (+1,4 %), 23 чел. погибли (-11,8 %). Вне городов и населенных пунктов совершено 172 ДТП с участием пешеходов (-1,3 %), в которых 145 чел. ранены (-2,2 %), 28 чел. погибли. (-1,1 %).

Рассматривая 2019 г., отмечено снижение показателей: в городах и населенных пунктах совершено 195 ДТП с участием пешеходов (-1,1 %), в которых 198 чел. ранены (+5,8 %), 17 чел. погибли (-35,3 %); вне городов и населенных пунктов совершено 159 ДТП с участием пешеходов (-7,5 %), в которых 141 чел. ранены, (-2,9 %), 19 чел. погибли (-32,1 %).

В 2020 г. и в 2021 г. в городах и населенных пунктах количество ДТП с участием пешеходов значительно сократилось ввиду эпидемиологической обстановки, однако вне городов и населенных пунктов – участились.

В 2020 г. в городах и населенных пунктах совершено 152 ДТП с участием пешеходов (-28,3 %), в которых 125 чел. ранены (-45,4 %), 16 чел. погибли (-5,9 %). Вне городов и населенных пунктов совершено 161 ДТП с участием пешеходов (+1,1 %), в которых 158 чел. ранены (+12,2 %), 25 чел. погибли. (+31,6 %).

В 2021 г. в городах и населенных пунктах совершено 93 ДТП с участием пешеходов (-38,8 %), в которых 84 чел. ранены (-32,3 %), 14 чел. погибли (-12,5 %). Вне городов и населенных пунктов совершено 137 ДТП с участием пешеходов (-14,9 %), в которых 146 чел. ранены (-7,6 %), 18 чел. погибли. (-28,1 %).

В 2022 г. отмечено увеличение количества ДТП с пешеходами как в городах и населенных пунктах, так и вне городов и населенных пунктов. В городах и населенных пунктах совершено 104 ДТП с участием пешеходов (+11,8 %), в которых 94 чел. ранены (+12,1 %), 15 чел. погибли (+7,1 %). Вне городов и населенных пунктов совершено 166 ДТП с участием пешеходов (+21,2 %), в которых 147 чел. ранены (+0,7 %), 20 чел. погибли. (+11,1 %).

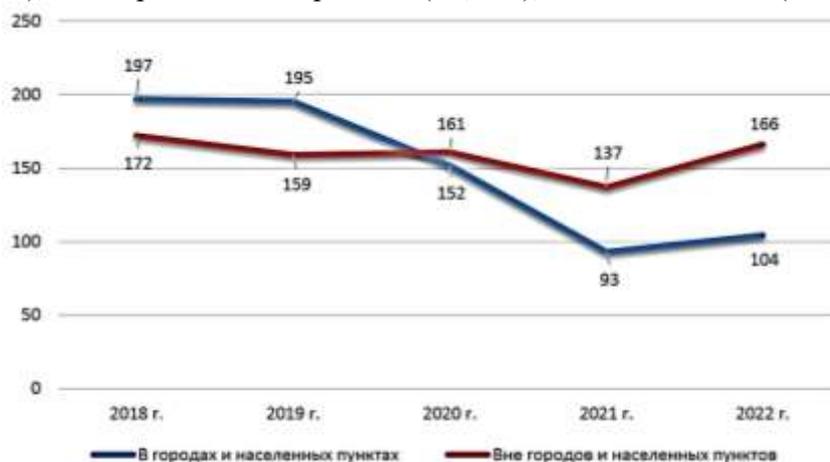


Рисунок – 3 *Распределение наездов на пешеходов в зависимости от места совершения за период 2018-2022 гг.*

Распределение наездов на пешеходов по дням недели и времени суток представлено на рисунках 4 и 5.

Рассматривая статистику наездов на пешеходов по дням недели за 2018-2022 гг. отмечается, что в понедельник было совершено 198 наездов на пешеходов, во вторник – 286, в среду – 272, в четверг – 257, в пятницу – 236, в субботу – 148, в воскресенье – 157.

В темное время суток за период 2018-2022 гг. количество наездов на пешеходов и погибших в них по месяцам составляет: в январе – 117 наездов, 20 чел. погибло; в феврале – 103 наезда, 9 чел. погибло, в марте – 115 наездов, 18 чел. погибло, апреле – 64 наезда, 7 чел. погибло, в мае – 108 наездов, 5 чел. погибло, в июне – 109 наездов, 17 чел. погибло, в июле – 106 наездов, 13 чел. погибло, в августе – 120 наездов, 11 чел. погибло, в сентябре – 164 наез-

да, 24 чел. погибло, в октябре – 170 наездов, 28 чел. погибло, в ноябре – 179 наездов, 19 чел. погибло, в декабре – 199 наездов, 24 чел. погибло.

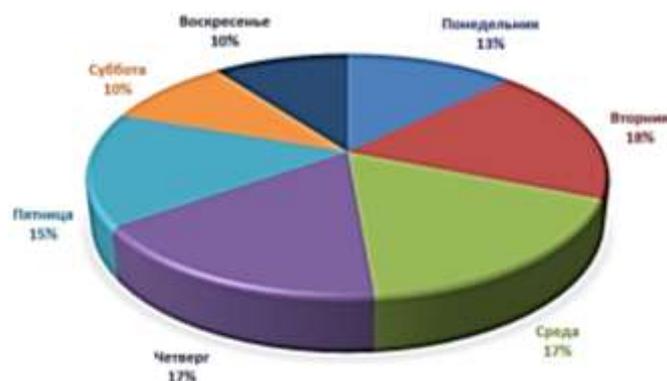


Рисунок 4 - Распределение наездов на пешеходов по дням недели за период 2018-2022 гг.

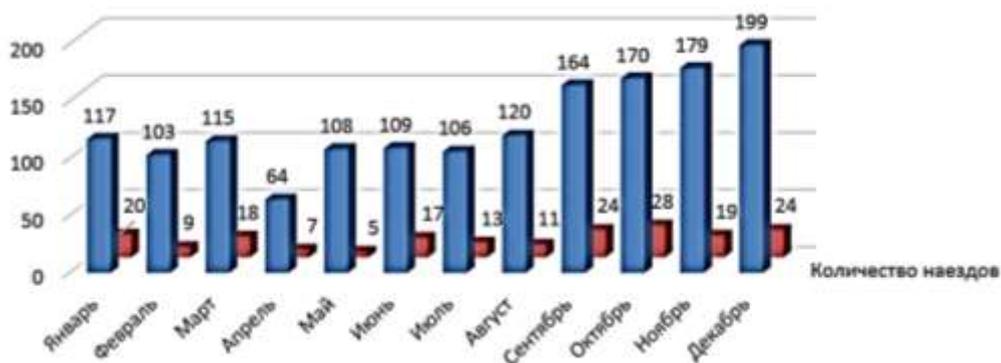


Рисунок 5 - Распределение наездов на пешеходов и погибших в них по месяцам за период 2018-2022 гг.

Распределение наездов на пешеходов в зависимости от вины участника представлены на рисунках 6 и 7.

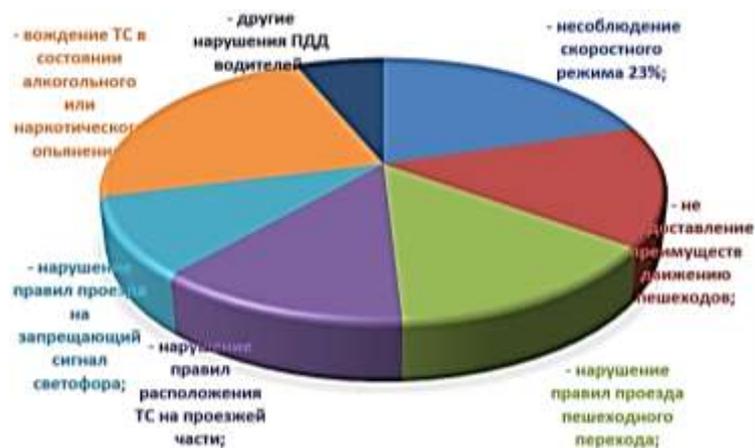


Рисунок 6 - Нарушения ПДД в наездах на пешеходов со стороны водителей за период 2018-2022 гг.

С 2018 г. по 2022 г. основными нарушениями ПДД в наездах на пешеходов со стороны водителей являлись:

- несоблюдение скоростного режима – 23 %;
- не предоставление преимуществ движению пешеходов – 18 %;
- нарушение правил проезда пешеходного перехода – 16 %;
- нарушение правил расположения ТС на проезжей части – 14 %;
- нарушение правил проезда на запрещающий сигнал светофора – 12 %;
- вождение ТС в состоянии алкогольного или наркотического опьянения – 10 %;
- другие нарушения ПДД водителей – 7 %.

Основные нарушения ПДД в наездах на пешеходов по вине пешехода:

- переход через проезжую часть вне пешеходного перехода – 38 %;
- переход через проезжую часть в неустановленном месте – 24 %;
- ходьба вдоль проезжей части при наличии в удовлетворительном состоянии тротуаров – 18 %;
- неподчинение сигналам регулирования – 12 %;
- иные нарушения пешеходов – 8 %.

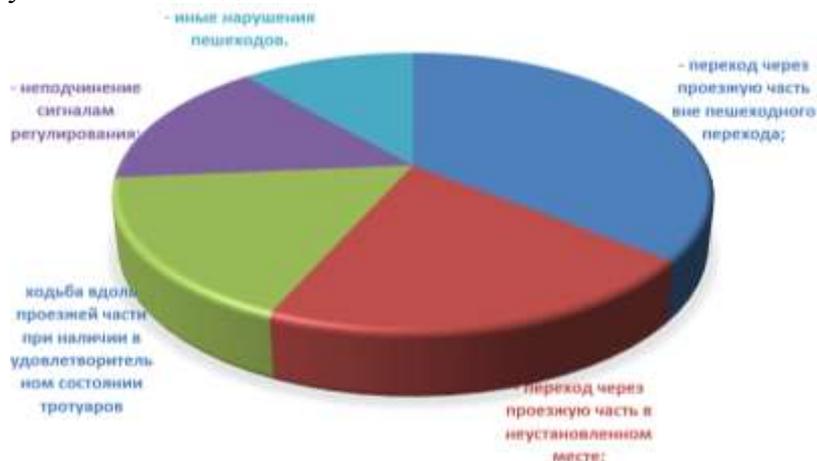


Рисунок 7 - Нарушения ПДД в наездах на пешеходов со стороны пешеходов за период 2018-2022 гг.

Результаты и обсуждение

За указанный период было совершено 1554 наезда, по вине водителей 1012 наездов, по вине пешеходов 542 наезда на рисунке 8.

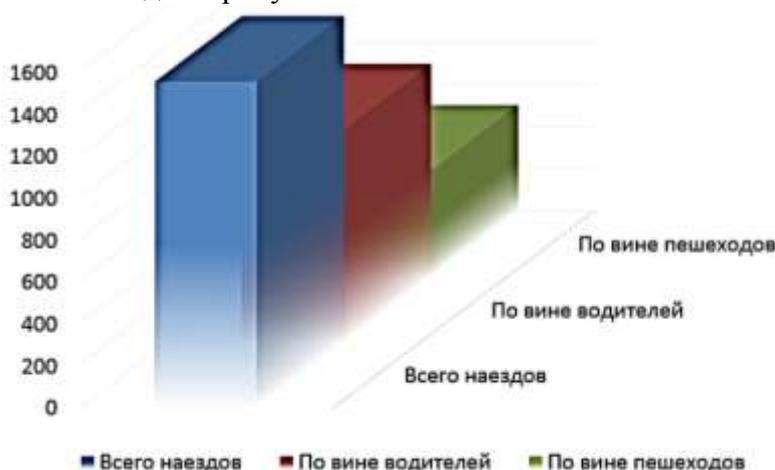


Рисунок 8 - Распределение наездов на пешеходов по вине участника за период 2018-2022 гг.

Для профилактики правонарушений ПДД, связанных с наездами на пешеходов на территории Белгородской области и в г. Белгород проводят ряд организационно-технических мероприятий, таких как [18-21]:

- разделительные островки для пешеходов;
- выделенная фаза светофорного регулирования для пешеходов;
- барьерные ограждения.

Госавтоинспекция также на постоянной основе с помощью проведения Всероссийских широкомасштабных социальных кампаний привлекает внимание государства и общества к вопросам безопасности пешеходов.

Выводы

Отметим, что «Стратегия безопасности дорожного движения РФ на 2018-2024 гг.» предусматривает теоретическую разработку и практическую реализацию ряда программ образовательного и просветительского характера, адресованных широким слоям населения и призванных сформировать в сознании граждан стереотипы безопасного и правомерного поведения на дорогах. Стратегия направлена как на водителей, так и пешеходов с целью повышения безопасности движения.

Для повышения безопасности движения пешеходов необходимо сокращать количество правонарушений ПДД водителей и пешеходов, увеличивать количество профилактических мероприятий.

Благодарность

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев А.П. Эксплуатация автомобильных дорог: учебник для студ. высших учеб. заведений. - В 2 т. - М.: Издательский центр «Академия», 2010. - 320 с.
2. Интеллектуальные транспортные системы в автомобильно-дорожном комплексе / В.М. Власов, В.М. Приходько, С.В. Жанказиев, А.М. Иванов. - М.: МАДИ. – М.: ООО «МЭЙЛЕР», 2011. – 487 с.
3. Гай Л.Е., Шутов А.И., Воля П.А., Кущенко С.В. Заторовые явления. Возможности предупреждения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2013. - №3.
4. Жанказиев С.В. Разработка проектов интеллектуальных транспортных систем: учебное пособие. – М.: МАДИ, 2016. – 22 с.
5. Кущенко Л.Е. Камбур А.С., Пехов А.А. Совершенствование организации дорожного движения посредством применения интеллектуальных транспортных систем // Мир транспорта и технологических машин. – Орел. - 2021. - № 3(74). - С. 83-91.
6. Новиков И.А. Технические средства организации движения: учебно-методический комплекс. - Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2009. - 302 с.
7. Kambur A., Kushchenko L., Novikov I. Improving traffic management through the use of intelligent transport systems // The VII International Scientific and Practical Conference «Information Technologies and Management of Transport Systems» (ITMITS 2021), МАТЕС Web Conf. – Vol. 341. - 2021.
8. Зырянов В.В., Кочерга В.Г., Поздняков М.Н. Современные подходы к разработке комплексных схем организации дорожного движения // Транспорт Российской Федерации. - СПб. – №1. - 2011. – С. 28-33.
9. Новиков И.А., Кущенко Л.Е., Новописный Е.А., Камбур А.С. Использование интеллектуальных транспортных систем для повышения качества организации дорожного движения // Мир транспорта и технологических машин. - 2022. - №3-4(78). – С. 42-49.
10. Новиков А.Н., Кущенко Л.Е., Новописный Е.А., Камбур А.С. Статистический анализ вероятности возникновения дорожно-транспортных происшествий на основе данных интеллектуальных транспортных систем Белгородской агломерации // Вестник гражданских инженеров. - 2022. - №5(94). – С. 116-122.
11. Жанказиев С.В. Интеллектуальные транспортные системы: учеб. пособие. - М.: МАДИ, 2016. - 14 с.
12. Жанказиев С.В. Имитационное моделирование в объектах ИТС: учеб. пособие. – М.: МАДИ, 2016. – 40 с.
13. Ezell S. Intelligent Transportation Systems. – Washington, D.C.: ITIF, 2010. – 21 p.
14. Daniel T., Lepers B. Automatic incident detection: a key tool for intelligent traffic management // Traffic technology international. Annual Review. – 1996. – P. 158-162.
15. Jaffe R.S. The U.S. National ITS Architecture. Part 2 Application // Traffic technology international. – 1996. - P 71-75.
16. Larson R., Korsak A. A dynamic programming successive technique with convergence proofs // Automatica. - Vol. 6. – 1970. – P. 245-260.
17. Kulmala R., Noukka M. Raiting the objectives. Finland's ITS strategy to 2010 // Traffic technology international. – 1998. - P. 62-66.
18. Nuttal I. Hunting out the budgets. An informal look at who's spending what ITS // Traffic technology international. – 1998. - P. 21-22.
19. Nuttal I. Will the tigers roar? ITS market potential in ASEAN region // Traffic Technology International. – 1998. – P. 60-64.
20. Kushchenko L., Kushchenko S., Kambur A., Novikov A. The analyzing of personal and public transport traffic flows in Belgorod agglomeration // Journal of Applied Engineering Science. – 2022. - Vol.20(3). – P. 700-706.
21. Kushchenko L., Kushchenko S., Novikov A., Kambur A. The use of information technology «Auto – Intellect» to improve the quality of traffic management // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2021.

Кущенко Лилия Евгеньевна

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, 46
К.т.н., доцент
E-mail: lily-041288@mail.ru

Камбур Алина Сергеевна

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, улица Костюкова, 46
Аспирант
E-mail: bobeshko.alya@mail.ru

FEATURES OF ACCIDENT ANALYSIS INVOLVING PEDESTRIANS ON THE TERRITORY OF THE BELGOROD REGION

Abstract. A detailed analysis of traffic accidents involving pedestrians for 2018-2022 was made in the Belgorod region. The distribution of collisions with pedestrians was revealed by days of the week, by months, by the place of the incident, by the types of pedestrian crossings. The main offenses of drivers and pedestrians are indicated, as a result of which a traffic accident occurs. Listed preventive organizational and technical measures to improve the safety of pedestrians.

Keywords: distribution, pedestrian crossing, traffic accident, dead, injured, violation

BIBLIOGRAPHY

1. Vasil'ev A.P. Eksploatatsiya avtomobil'nykh dorog: uchebnik dlya stud. vysshikh ucheb. zavedeniy. - V 2 t. - M.: Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2010. - 320 s.
2. Intellektual'nye transportnye sistemy v avtomobil'no-dorozhnom komplekse / V.M. Vlasov, V.M. Prikhod'ko, S.V. Zhankaziev, A.M. Ivanov. - M.: MADI. - M.: OOO «MEYLER», 2011. - 487 s.
3. Gay L.E., Shutov A.I., Volya P.A., Kushchenko S.V. Zatorovye yavleniya. Vozmozhnosti preduprezhdeniya // Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova. - 2013. - №3.
4. Zhankaziev S.V. Razrabotka proektov intellektual'nykh transportnykh sistem: uchebnoe posobie. - M.: MADI, 2016. - 22 s.
5. Kushchenko L.E. Kambur A.S., Pekhov A.A. Sovershenstvovanie organizatsii dorozhnogo dvizheniya posredstvom primeneniya intellektual'nykh transportnykh sistem // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - Orel. - 2021. - № 3(74). - S. 83-91.
6. Novikov I.A. Tekhnicheskie sredstva organizatsii dvizheniya: uchebno-metodicheskiy kompleks. - Belgorod: BGTU im. V. G. Shukhova, 2009. - 302 s.
7. Kambur A., Kushchenko L., Novikov I. Improving traffic management through the use of intelligent transport systems // The VII International Scientific and Practical Conference «Information Technologies and Management of Transport Systems» (ITMTS 2021), MATEC Web Conf. - Vol. 341. - 2021.
8. Zyryanov V.V., Kocherga V.G., Pozdnyakov M.N. Sovremennyye podkhody k razrabotke kompleksnykh skhem organizatsii dorozhnogo dvizheniya // Transport Rossiyskoy Federatsii. - SPb. - №1. - 2011. - S. 28-33.
9. Novikov I.A., Kushchenko L.E., Novopisnyy E.A., Kambur A.S. Ispol'zovanie intellektual'nykh transportnykh sistem dlya povysheniya kachestva organizatsii dorozhnogo dvizheniya // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2022. - №3-4(78). - S. 42-49.
10. Novikov A.N., Kushchenko L.E., Novopisnyy E.A., Kambur A.S. Statisticheskiy analiz veroyatnosti vozniknoveniya dorozhno-transportnykh proisshestviy na osnove dannykh intellektual'nykh transportnykh sistem Belgorodskoy aglomeratsii // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. - 2022. - №5(94). - S. 116-122.
11. Zhankaziev S.V. Intellektual'nye transportnye sistemy: ucheb. posobie. - M.: MADI, 2016. - 14 s.
12. Zhankaziev S.V. Imitatsionnoe modelirovanie v ob"ektakh ITS: ucheb. posobie. - M.: MADI, 2016. - 40 s.
13. Ezell S. Intelligent Transportation Systems. - Washington, D.C.: ITIF, 2010. - 21 r.
14. Daniel T., Lepers B. Automatic incident detection: a key tool for intelligent traffic management // Traffic technology international. Annual Review. - 1996. - R. 158-162.
15. Jaffe R.S. The U.S. National ITS Architecture. Part 2 Application // Traffic technology international. - 1996. - R 71-75.
16. Larson R., Korsak A. A dynamic programming successive technique with convergence proofs // Automatica. - Vol. 6. - 1970. - R. 245-260.
17. Kulmala R., Noukka M. Raiting the objectives. Finland's ITS strategy to 2010 // Traffic technology international. - 1998. - R. 62-66.
18. Nuttal I. Hunting out the budgets. An informal look at who's spending what ITS // Traffic technology international. - 1998. - R. 21-22.
19. Nuttal I. Will the tigers roar? ITS market potential in ASEAN region // Traffic Technology International. - 1998. - R. 60-64.
20. Kushchenko L., Kushchenko S., Kambur A., Novikov A. The analyzing of personal and public transport traffic flows in Belgorod agglomeration // Journal of Applied Engineering Science. - 2022. - Vol.20(3). - R. 700-706.
21. Kushchenko L., Kushchenko S., Novikov A., Kambur A. The use of information technology «Auto – Intellect» to improve the quality of traffic management // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2021.

Kushchenko Liliya Evgen'evna
Belgorod State Technological University
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46
Candidate of Technical Sciences
E-mail: lily-041288@mail.ru

Kambur Alina Sergeevna
Belgorod State Technological University
Address: 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova str. 46
Graduate student
E-mail: bobeshko.alya@mail.ru

Научная статья

УДК 656.21

doi:10.33979/2073-7432-2023-3-4(82)-77-82

У.А. ЯКУШЕВА, А.Н. НОВИКОВ, А.Г. ШЕВЦОВА

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ ПАССАЖИРОВ НА ВОКЗАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСАХ

***Аннотация:** В статье выполнен анализ основных методов, применяемых для совершенствования качества обслуживания пассажиров на вокзальных комплексах, определены основные Нормы проектирования и предоставления услуг на вокзалах определяются внутригородскими и международными законами, которые учитывают факторы безопасности (например, санитарными нормами, возможность передвижения по путям и риск самоубийства), а также нормами содержания объектов транспортной инфраструктуры (например, расчистка снега и обслуживание технических устройств вокзального комплекса).*

***Ключевые слова:** железнодорожный вокзал, вокзальный комплекс, пассажирские перевозки, пассажиропоток*

Введение

Для удовлетворения потребностей современного пассажира вокзальные комплексы не должны рассматриваться как обособленные транспортные объекты, а должны проектироваться с учетом обеспечения возможности беспрепятственной пересадки на другие виды городского транспорта, с минимальными потерями времени. Кроме того, должны учитываться как классические виды подвозящего и внутригородского транспорта (автобус, троллейбус, трамвай), так и сервисы каршеринг и средства индивидуальной мобильности.

В связи с Долгосрочной программой развития железнодорожных вокзалов Дирекции железнодорожных вокзалов-филиала ОАО «РЖД» на период до 2025 года, утвержденной распоряжением от 24 декабря 2018 г. №2786/р определены ключевые инициативы развития вокзалов.

Материал и методы

Что касается качества предоставляемых услуг, то оценка эффективности функционирования ВК производится по следующим группам показателей:

- 1) надежность предоставляемых услуг;
- 2) удовлетворенность пассажира;
- 3) обеспечение безопасности;
- 4) качество работы персонала;
- 5) финансовые показатели предоставляемых услуг.

Сегодня происходит коренное изменение подхода к проектированию и строительству вокзалов. Главная цель при этом следующая – обеспечить не только безопасное, но и комфортное пребывание людей на вокзале, аналогичным образом как и при реализации проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги», необходимо в первую очередь обеспечить безопасность автомобильных дорог [1-10]. Принципы функционирования такого вокзала заключаются в следующем:

- 1) автоматизация процессов жизнеобеспечения (интеллектуальное управление функционированием инфраструктуры и технических средств вокзала);
- 2) возможность обеспечения дистанционного контроля из региональных ситуационных центров за функционированием систем жизнеобеспечения вокзалов;
- 3) применение инновационных технологий (в том числе нанотехнологий) и методов оптимизации инженерных и информационных систем для достижения максимального ресурсосберегающего эффекта;
- 4) применение технологий «Зеленого здания»;

5) оптимизация процессов обслуживания пассажиров путём максимально удобного расположения объектов, связанных с обслуживанием посетителей и их информированием [11].

Основанием для экстренной оптимизации энергопотребления вокзала стало несоответствие между количеством тепловой и электрической энергии, потребляемым объектом, и современными требованиями стандартов [12].

Теория

При реконструкции вокзального комплекса, с целью применения принципов «зеленого вокзала» и других аспектов энергоэффективности необходимо предусматривать улучшение изоляции посредством установки изоляционной плиты из стекловаты, изоляции из минеральной, а также дополнительных полистироновых (ПСВ) плит. Внедрять системы климатической стабилизации здания [13]. Использовать солнцезащитные пленки, улучшающие теплозащиту здания и повышающие комфорт пассажиров. Использовать системы сбора и повторного использования дождевой воды.

В соответствии с руководством по организации пассажирских станций (TRAFIKVERKET Planing manual) при планировании продвижения пассажиропотоков в пределах вокзального комплекса возможно возникновение «узких мест», затрудняющих продвижение пассажира и уменьшающих привлекательность и конкурентоспособность всего вокзального комплекса и железнодорожного транспорта [14].

Основные потенциальные зоны образования узких мест:

1. Парковка транспортных средств: размер парковочной зоны и число парковочных мест должно коррелировать с величиной пассажиропотока на рассматриваемом вокзале и вмещать необходимый объем автомобилей. При неправильной организации парковки возможно затруднение продвижения пассажиров на въезде и выходе с парковки.

2. Смещение пассажиропотоков различных типов сообщений и вторичных потоков. На территории вокзала необходимо по возможности разделять потоки пассажиров пригородного и дальнего сообщения, а также посетителей вокзала, не являющихся пассажирами [15].

3. Организация продвижения пассажиров от подвозящего общественного транспорта. При выборе схемы въезда автобусов необходимо предусмотреть оптимальную схему въезда и выезда на рассматриваемую территорию различных маршрутов общественного транспорта, уменьшить количество барьеров, преодолеваемых потенциальным пассажиром до здания вокзала (Пересечение дороги, перекрестков, уменьшение пути следования пассажира к остановкам общественного транспорта) [16].

4. Разделение пассажиропотока должно соответствовать технологии работы вокзального комплекса. Необходимо избегать ограничений на маршрутах следования пассажиров на территории вокзального комплекса [17].

5. Необходимо обеспечение достаточного количества касс и билетопечатающих автоматов.

6. Обеспечение информационного сопровождения пассажира на протяжении всего маршрута его проследования.

Результаты и обсуждение

На примере Павелецкого вокзала, основываясь на данный перечень, можно выявить следующие «узкие» места:

- 1) размещения информации вне точек принятия решений;
- 2) различие внешнего вида имеющейся системы динамической информации и проблематичность ее восприимчивости пассажирами;
- 3) отсутствие полноценной информации для маломобильных групп населения;
- 4) наличие устаревших информационных носителей;
- 5) перенасыщенность информации по системе громкоговорящей связи;
- 6) недостаточность или недоступность информации там, где она действительно необходима.

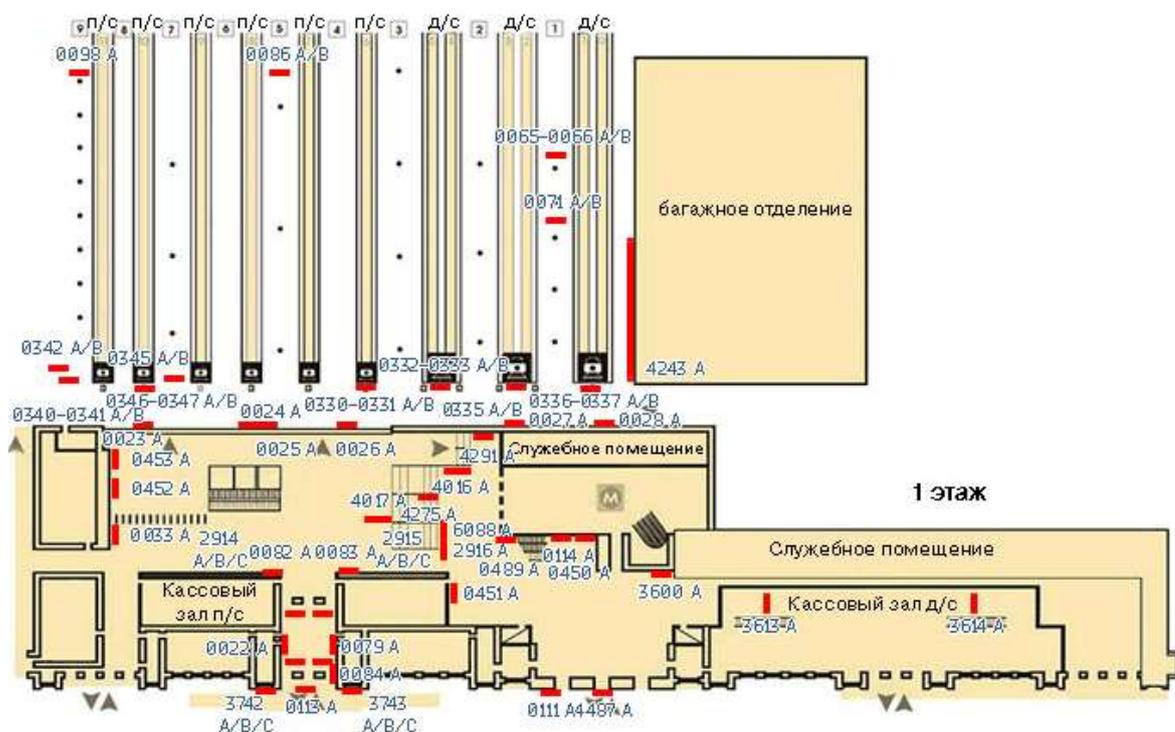


Рисунок 1 – Схема первого этажа Павелецкого вокзала с выходами на платформы

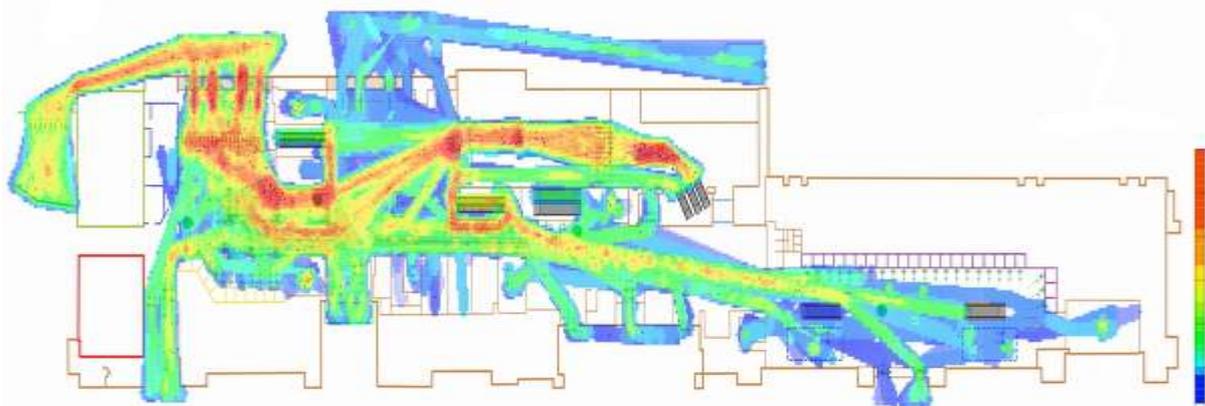


Рисунок 2 – Фрагмент анимации имитационной модели Павелецкого вокзала: плотность пассажиропотоков в моделируемом пространстве

Большое внимание уделяется также предоставлению различных видов услуг на вокзальных комплексах. В международной практике рассматривается в зависимости от значимости класса вокзального комплекса.

На конкурентном транспортном рынке вокзалы должны управляться с помощью единой и операторно-нейтральной компании. Для обеспечения потребного уровня функциональности для каждого вокзального комплекса, на государственном уровне законодательных актов выстраивается система классификации вокзалов и вырабатываются требования к потребному наличию услуг и способу их предоставления пассажирам.

Основные услуги, предоставляемые на различных вокзалах, являются результатом общей оценки, сбалансированности потребности и ожидания пассажиров и операторов вокзального комплекса.

Выводы

Нормы проектирования и предоставления услуг на вокзалах определяются внутригосударственными и международными законами, которые учитывают факторы безопасности (например, санитарными нормами, возможность передвижения по путям и риск самоубий-

ства), а также нормами содержания объектов транспортной инфраструктуры (например, расчистка снега и обслуживание технических устройств вокзального комплекса).

Так же на сегодняшний день имеется большая вариативность в плане типов пассажиров. При проектировании станции должны быть учтены и равно удовлетворены интересы всех пассажиров как тех, кто совершает поездки редко на большие расстояния, так и тех, кто совершает поездки часто на короткие расстояния.

Эти функции можно разделить на следующие группы:

- 1) услуги, предоставляемые на платформе;
- 2) обеспечение переходов между различными уровнями;
- 3) обеспечение информационного сопровождения;
- 4) общие характеристики пересадочного пункта;
- 5) организация транспортной безопасности;
- 6) особенности доступа в здание вокзала;
- 7) особенности обслуживания пассажиров.

Поэтому для усовершенствования качества обслуживания пассажиров на вокзальных комплексах можно определить следующие основные тенденции развития ВК:

- переход от управления только вокзалом к управлению транспортно-пересадочным комплексом с учетом объектов инфраструктуры смежных видов транспорта;
- диджитализация (цифровизация);
- имитационное моделирование пассажиропотоков;
- социальная, экологическая ответственность;
- тенденции к трансформации социально-культурных мероприятий на вокзалах;
- концепция современного вокзала как «умный вокзал».

Представленные тенденции, также соответствуют перспективному развитию и в области иных видов транспорта, в том числе и автомобильного, что отражено в Транспортной стратегии Российской Федерации с прогнозным периодом до 2035 года [18-21].

Благодарности

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Старовойт Р.В. Безопасные и качественные автомобильные дороги - главный проект Федерального дорожного агентства // Транспортная стратегия - XXI век. – 2016. – №34. – С. 28-29.
2. Былинин И.А. Некоторые вопросы реализации национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» // Научный вестник Орловского юридического института МВД России имени В.В. Лукьянова. – 2020. – №2(83). – С. 158-163.
3. Shevtsova A., Novikov A. Development of an approach to determination of coupling qualities of road covering using weather-climate factor // Journal of Applied Engineering Science. – 2021. – Vol. 19. - №1. – P. 30-36. – DOI 10.5937/jaes0-26642.
4. Шевцова А.Г., Мочалина Ю.А. Обзор новых технических средств организации дорожного движения // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. – 2015. – Т. 2. - №2(3). – С. 672-677. – DOI 10.12737/19521.
5. Новиков А.Н., Новиков И.А., Шевцова А.Г. Современная оценка проблемы безопасности дорожного движения. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2021. – 108 с.
6. Новиков А.Н., Еремин С.В., Кулев А.В., Ломакин Д.О. Проблемы внедрения интеллектуальных транспортных систем в регионах // Мир транспорта и технологических машин. – 2021. – №1(72). – С. 47-54. – DOI 10.33979/2073-7432-2021-72-1-47-54.
7. S. Evtyukov, A. Marusin, A. Novikov, A. Shevtsova. Solutions to the main transportation problems in the Arctic zone of the Russian Federation // Transportation Research Procedia. – St. Petersburg. - 2021. – P. 154-162. – DOI 10.1016/j.trpro.2021.09.037.
8. Shevtsova A.G., Novikov A.N., Silyanov V.V. Method of Urban Traffic Management // 2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Conference Proceedings. – Moscow. - 2021. – P. 9416113. – DOI 10.1109/IEEECONF51389.2021.9416113.

9. Старовойт Р.В. Безопасные и качественные автомобильные дороги - главный проект Федерального дорожного агентства // Транспортная стратегия - XXI век. – 2016. – №34. – С. 28-29.
10. Реализация национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2019. – №3(89). – С. 1.
11. Руководство по применению единой навигационной системы для вокзалов и остановочных пунктов ОАО «РЖД» [Электронный ресурс] / Дирекция железнодорожных вокзалов. – Режим доступа: <http://rzd.ru/>
12. Моделирование пешеходных потоков [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.simulation.su>.
13. СП 59.13330.2020. Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения. Актуализированная редакция СНиП 35-01-2001.
14. ГОСТ Р 51671-2020. Средства связи и информации технические общего пользования, доступные для инвалидов. Классификация. Требования доступности и безопасности.
15. СП 136.13330.2012. Здания и сооружения. Общие положения проектирования с учетом доступности для маломобильных групп населения.
16. Павлов Л.Н. Опыт организации деятельности вокзалов за рубежом // Железные дороги: настоящее и будущее. - 2007. - №3. - С. 84-92.
17. СП 59.13330.2016. Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения. Актуализированная редакция СНиП 35-01-2001.
18. Новописный И.А., Шевцова А.Г., Макагонов А.Е. Сравнительный анализ программ безопасности дорожного движения германии и Российской Федерации // Техника и технологии строительства. – 2015. – №4(4). – С. 11-17.
19. Андреев В.К. О судьбе договора транспортной экспедиции в условиях цифровизации грузоперевозочного процесса // Право и экономика. – 2022. – №11(417). – С. 50-55.
20. Мамонова М.В. Актуальность проблематики правового регулирования инвестиционной деятельности в целях реализации транспортной стратегии российской федерации до 2030 года // Транспортное право и безопасность. – 2017. – №3(15). – С. 33-36.
21. Новиков А.Н., Еремин С.В., Шевцова А.Г. Пути повышения безопасности функционирования общественного транспорта в условиях перспективного развития города. – Белгород-Орел: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2023. – 239 с.

Якушева Ульяна Андреевна

Российский университет транспорта (МИИТ)
Адрес: 127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, 9
Аспирант
E-mail: yakusheva.ulyana@yandex.ru

Новиков Александр Николаевич

Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева
Адрес: 302026, Россия, г. Орел, ул. Комсомольская, 95
Д.т.н., профессор, директор Политехнического института имени Н.Н. Поликарпова
E-mail: novikovan58@bk.ru

Шевцова Анастасия Геннадьевна

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Адрес: Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, 46
Д.т.н., доцент, доцент каф. Эксплуатация и организация движения автотранспорта
E-mail: shevcova-anastasiya@mail.ru

U.A. YAKUSHEVA, A.N. NOVIKOV, A.G. SHEVTSOVA

PROMISING METHODS OF IMPROVING THE QUALITY OF PASSENGER SERVICE AT TRAIN STATION COMPLEXES

Abstract: The article analyzes the main methods used to ensure the quality of passenger service at railway complexes, it is necessary to comply with the basic standards for the design and provision of services in the territories of developing countries within the framework of modern international and international law that support safety factors (for example, sanitary standards, the ability to move around ways), and the risk of suicide), as well as maintenance standards for transport employment facilities (for example, snow removal and maintenance of station technical equipment).

Keywords: railway station, railway station complex, passenger transportation, passenger traffic

BIBLIOGRAPHY

1. Starovoyt R.V. Bezopasnye i kachestvennye avtomobil'nye dorogi - glavnyy proekt Federal'nogo dorozhnogo agentstva // *Transportnaya strategiya - XXI vek.* - 2016. - №34. - S. 28-29.
2. Bylinin I.A. Nekotorye voprosy realizatsii natsional'nogo proekta «Bezopasnye i kachestvennye avtomobil'nye dorogi» // *Nauchnyy vestnik Orlovskogo yuridicheskogo instituta MVD Rossii imeni V.V. Luk'yanova.* - 2020. - №2(83). - S. 158-163.
3. Shevtsova A., Novikov A. Development of an approach to determination of coupling qualities of road covering using weather-climate factor // *Journal of Applied Engineering Science.* - 2021. - Vol. 19. - №1. - P. 30-36. - DOI 10.5937/jaes0-26642.
4. Shevtsova A.G., Mochalina Yu.A. Obzor novykh tekhnicheskikh sredstv organizatsii dorozhnogo dvizheniya // *Alternativnye istochniki energii v transportno-tekhnologicheskoy kompleks: problemy i perspektivy ratsional'nogo ispol'zovaniya.* - 2015. - T. 2. - №2(3). - S. 672-677. - DOI 10.12737/19521.
5. Novikov A.N., Novikov I.A., Shevtsova A.G. Sovremennaya otsenka problemy bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya. - Belgorod: BGTU im. V.G. Shukhova, 2021. - 108 s.
6. Novikov A.N., Eremin S.V., Kulev A.V., Lomakin D.O. Problemy vnedreniya intellektual'nykh transportnykh sistem v regionakh // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin.* - 2021. - №1(72). - S. 47-54. - DOI 10.33979/2073-7432-2021-72-1-47-54.
7. S. Evtuykov, A. Marusin, A. Novikov, A. Shevtsova. Solutions to the main transportation problems in the Arctic zone of the Russian Federation // *Transportation Research Procedia.* - St. Petersburg. - 2021. - P. 154-162. - DOI 10.1016/j.trpro.2021.09.037.
8. Shevtsova A.G., Novikov A.N., Silyanov V.V. Method of Urban Traffic Management // *2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Conference Proceedings.* - Moscow. - 2021. - P. 9416113. - DOI 10.1109/IEEECONF51389.2021.9416113.
9. Starovoyt R.V. Bezopasnye i kachestvennye avtomobil'nye dorogi - glavnyy proekt Federal'nogo dorozhnogo agentstva // *Transportnaya strategiya - XXI vek.* - 2016. - №34. - S. 28-29.
10. Realizatsiya natsional'nogo proekta «Bezopasnye i kachestvennye avtomobil'nye dorogi» // *Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli.* - 2019. - №3(89). - S. 1.
11. Rukovodstvo po primeneniyu edinoy navigatsionnoy sistemy dlya vokzalov i ostanovochnykh punktov OAO «RZHD» [Elektronnyy resurs] / Direktsiya zheleznodorozhnykh vokzalov. - Rezhim dostupa: <http://http://rzd.ru/>
12. Modelirovanie peshkhodnykh potokov [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: <http://www.simulation.su>.
13. SP 59.13330.2020. Dostupnost' zdaniy i sooruzheniy dlya malomobil'nykh grupp naseleniya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIIP 35-01-2001.
14. GOST R 51671-2020. Sredstva svyazi i informatsii tekhnicheskies obshchego pol'zovaniya, dostupnye dlya invalidov. Klassifikatsiya. Trebovaniya dostupnosti i bezopasnosti.
15. SP 136.13330.2012. Zdaniya i sooruzheniya. Obshchie polozheniya proektirovaniya s uchetom dostupnosti dlya malomobil'nykh grupp naseleniya.
16. Pavlov L.N. Opyt organizatsii deyatelnosti vokzalov za rubezhom // *Zheleznye dorogi: nastoyashchee i budushchee.* - 2007. - №3. - S. 84-92.
17. SP 59.13330.2016. Dostupnost' zdaniy i sooruzheniy dlya malomobil'nykh grupp naseleniya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIIP 35-01-2001.
18. Novopisnyy I.A., Shevtsova A.G., Makagonov A.E. Sravnitel'nyy analiz programm bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya germanii i Rossiyskoy Federatsii // *Tekhnika i tekhnologii stroitel'stva.* - 2015. - №4(4). - S. 11-17.
19. Andreev V.K. O sud'be dogovora transportnoy ekspeditsii v usloviyakh tsifrovizatsii gruzoperevoznogo protsessa // *Pravo i ekonomika.* - 2022. - №11(417). - S. 50-55.
20. Mamonova M.V. Aktual'nost' problematiki pravovogo regulirovaniya investitsionnoy deyatelnosti v tselyakh realizatsii transportnoy strategii rossiyskoy federatsii do 2030 goda // *Transportnoe pravo i bezopasnost'.* - 2017. - №3(15). - S. 33-36.
21. Novikov A.N., Eremin S.V., Shevtsova A.G. Puti povysheniya bezopasnosti funktsionirovaniya obshchestvennogo transporta v usloviyakh perspektivnogo razvitiya goroda. - Belgorod-Orel: BGTU im. V.G. Shukhova, 2023. - 239 s.

Yakusheva Ulyana Andreevna

Russian University of transport
Address: 127994, Russia, Moscow, Obraztsova str., 9
Postgraduate student
E-mail: yakusheva.ulyana@yandex.ru

Shevtsova Anastasia Gennad'evna

Belgorod State Technological University
Address: Russia, Belgorod, Kostyukova str., 46
Doctor of technical sciences
E-mail: shevcova-anastasiya@mail.ru

Novikov Alexander Nikolaevich

Orel State University I.S. Turgenev
Address: 302026, Russia, Orel, Komsomolskaya str., 95
Doctor of technical sciences
E-mail: novikovan58@bk.ru

Научная статья

УДК656.13

doi:10.33979/2073-7432-2023-3-4(82)-83-89

В.Н. БАСКОВ, А.В. ИГНАТОВ, А.А. НЕВОЛИН

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С УЧЕТОМ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ВОДИТЕЛЯ

***Аннотация.** В статье рассмотрено влияние показателей надежности водителя на риск возникновения дорожно-транспортных происшествий (ДТП), а также факторов, влияющих на сам показатель надежности. Разобраны основные причины ДТП в долевом отношении. Рассмотрен общий принцип работы системы контроля психофизиологического состояния водителя. Предложена концепция информационного предупреждения других участников дорожного движения о снижении показателей надежности у водителя конкретного автотранспортного средства (АТС), в первую очередь грузовых автомобилей и автобусов, выполняющих междугородние рейсы.*

***Ключевые слова:** водитель, автомобиль, надежность, утомляемость, безопасность дорожного движения, контроль, алгоритм*

Введение

Основной составляющей в системе «Водитель – Автомобиль – Дорога - Среда» (ВАДС) является водитель. На водителя оказывает влияние огромное количество факторов, как внешней, так и внутренней среды, которые приводят к изменению его психофизиологического состояния в процессе управления автотранспортным средством. Эти изменения, как правило, приводят к возникновению негативных последствий, т.е. нарастанию усталости и времени реакции, снижению концентрации внимания и остроты зрения, и т.д. Следовательно, снижаются показатели надежности водителя, как оператора автомобиля. Исследованиям психофизиологических качеств водителя и их влиянию на безопасность дорожного движения посвящено множество работ [1-11].

В качестве показателей надежности водителя наиболее часто используются такие, как время реакции водителя, время адаптации водителя при ослеплении, величина кожно-гальванической реакции (КГР), стаж работы водителя и др.

Изменения вышеуказанных показателей приводят к увеличению риска возникновения дорожно-транспортного происшествия по вине водителя. Особенно это ярко выражается при осуществлении транспортного процесса на значительные расстояния. Соблюдение установленного режима труда и отдыха водителя способствует поддержанию его психофизиологического состояния на относительно высоком уровне, однако полностью не исключает снижения надежности из-за наличия протекающих в человеке болезней, эмоциональных нарушений, отрицательного влияния остальных элементов системы ВАДС.

В итоге водитель, который обладает сниженными показателями надежности более подвержен риску принятия неправильных управленческих решений, не соответствующих реальной дорожно-транспортной ситуации, что в свою очередь приводит к ДТП. Причем, для окружающих такого водителя участников дорожного движения не всегда заметна опасность, создаваемая водителем со сниженными показателями надежности. Например, изменение стиля вождения может происходить не плавным образом, а с резким изменением, к чему прочие участники дорожного движения могут быть не готовы.

Таким образом, возникает необходимость разработки концепции информационного предупреждения других участников дорожного движения о снижении показателей надежности у водителя конкретного АТС, в первую очередь грузовых автомобилей и автобусов, выполняющих междугородние рейсы.

Материал и методы

Под надежностью водителя в общем смысле понимают способность безаварийно управлять автотранспортным средством с заданными параметрами движения в течение нормативного рабочего времени [12]. На показатели надежности, помимо других элементов системы ВАДС, влияют следующие факторы:

- 1) общее состояние физического здоровья организма человека;
- 2) психоэмоциональное состояние в момент управления автомобилем;
- 3) степень утомления;
- 4) имеющиеся навыки управления автомобилем;
- 5) опыт;
- 6) культура управления АТС;
- 7) личностные качества водителя (воспитание, уважение, дисциплинированность, ответственность и т.д.);
- 8) мотивация.

Усредненно причины ДТП, возникающие по вине водителя, можно классифицировать по следующим основным видам (рис. 1).

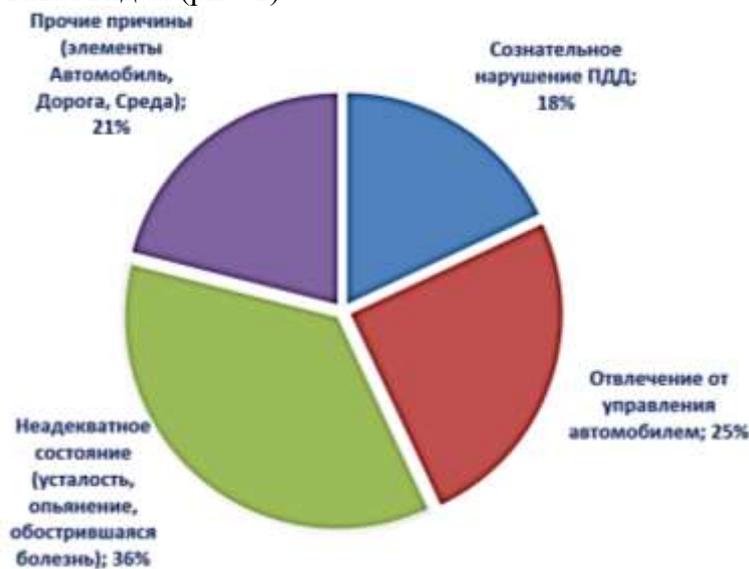


Рисунок 1 – Распределение причин ДТП по вине водителя

К причинам ДТП со стороны водителя по медицинским показателям относят следующие [13]:

- 1) состояние опьянения (любого вида);
- 2) негативное побочное воздействие лекарственных препаратов;
- 3) хронические заболевания;
- 4) снижение работы органов чувств (в первую очередь зрения);
- 5) усталость.

Несмотря на требование в соответствии с Федеральным законом «О безопасности дорожного движения» [14] проходить мед. комиссию не реже 1-го раза в 2 года (для водителей, выполняющих коммерческие перевозки пассажиров, багажа и грузов), ряд серьезных заболеваний может возникнуть в интервале между прохождением мед. комиссий. В тоже время, на ряд причин возникновения ДТП по вине водителя, медицинское обследование вообще повлиять не может (утомление, опьянение, нарушение режима труда и отдыха и т.д.).

Теория / Расчет

В общем виде вероятность возникновения ДТП представляет собой следующую зависимость [15]:

$$P_{ав} = P_{ас} + P_{св} + P_{ос}, \quad (1)$$

где $P_{ас}$ – вероятность аварийного состояния АТС;

$P_{св}$, $P_{ос}$ – вероятность опасного состояния водителя и окружающей среды соответственно.

Ввиду влияния значительного количества факторов на психофизиологическое состояние водителя (в т.ч. динамических и сложно рассчитываемых, например – настроение) существует множество подходов к оценке его надежности с учетом определенной номенклатуры влияющих факторов. Методические рекомендации по оценке профессиональной надежности

водителей [16] предлагают рассчитывать интегральное воздействие факторов производственной среды:

$$K_{\text{интегр}} = (F_1 t_1 + F_2 t_2 + \dots + F_j t_j) K_{\text{возр}}, \quad (2)$$

где $K_{\text{интегр}}$ – коэффициент интегрального воздействия профессиональных факторов на конкретного представителя профессиональной группы водителей, усл. ед.

F_1, F_2, \dots, F_j – уровень воздействия определенного профессионального фактора, усл. ед.

$K_{\text{возр}}$ – возрастной коэффициент (значение берется из методики [16]);

t_1, t_2, \dots, t_j – стаж работы данного представителя профессиональной группы водителей (в годах и его долях).

Величина $K_{\text{интегр}} < 1$ соответствует допустимому уровню профессионального риска.

Чаще всего наибольший риск возникновения ДТП происходит от водителя. Для того, чтобы определить психофизиологическое состояние в текущий момент времени, необходимо использование специальных технических средств, регистрирующих общее состояние водителя. В настоящее время общий принцип регистрации психофизиологического состояния водителя заключаются в следующих направлениях [17-19]:

- 1) речевая оценка водителя;
- 2) его вербальное и невербальное поведение;
- 3) оценка диаметра зрачка;
- 4) оценка внутренних психофизиологических параметров – частоты сердцебиения и дыхания, температуры тела, уровня электродермальной активности (ЭДА), показателей электроэнцефалограммы (ЭЭГ), уровня кислорода в крови.

В качестве примера можно привести систему контроля работы водителя, разработанную компанией Volvo (рис. 2) [15].

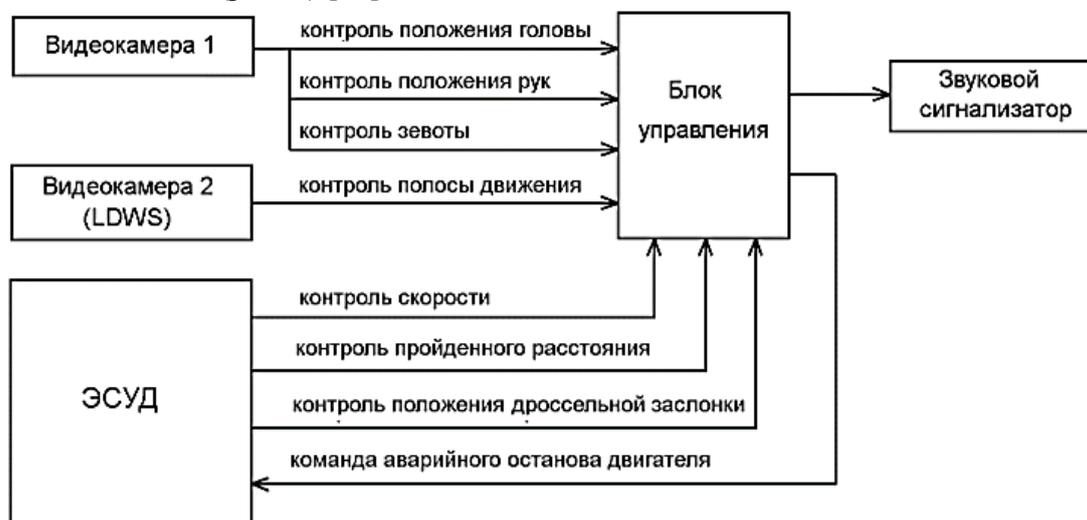


Рисунок 2 – Принцип работы системы контроля психофизиологического состояния водителя Volvo [15]

Таким образом, видеокамера 1 отслеживает состояние водителя по положению головы, рук и контролю частоты зевания. Эта система позволяет произвести аварийное торможение, однако в плотном и интенсивном транспортном потоке этих действий может быть недостаточно и в процессе аварийного торможения всё равно есть вероятность возникновения ДТП с рядом идущим автомобилем.

В соответствии с Приказом Министерства транспорта РФ [20] большинство автобусов и грузовых автомобилей должны быть оснащены цифровыми тахографами с блоком СКЗИ (средство криптографической защиты информации), которые выполняют контроль работы водителей с позиции нарушений, прежде всего режима труда и отдыха. Общий принцип работы тахографов представлен в таблице 1 [21].

Таблица 1 - Регламентирование критериев оценки работы водителя [21]

Критерий оценки	Описание
Время	Дата и время фиксации нарушения.
Тип нарушения	Тип активности водителя, условия которой не были соблюдены.
Описание	Краткое описание нарушения.
Степень	Значительность нарушения.
Объект	Имя объекта, на который назначен водитель.
Водитель	Имя назначенного водителя.
Количество	Количество нарушений.

Регистрируемые нарушения в режиме реального времени также могут передаваться диспетчеру.

Результаты и обсуждение

На основе вышерассмотренных систем предлагается их использование совместно с внешним информационным табло на кузове грузового автомобиля или автобуса, сигнализирующего об общем текущем состоянии водителя для других участников дорожного движения.

Условно, регистрируемый уровень параметров водителя можно распределить на три зоны:

1) зелёная – параметры водителя находятся в нормальном состоянии, риск возникновения ДТП по вине водителя минимален;

2) желтая – выявление начальных признаков отклонения психофизиологического состояния от нормы (небольшое превышение нормальных значений). Система при помощи звукового сигнала в кабине информирует водителя о необходимости сделать остановку. В случае невыполнения рекомендации в течение установленного времени (предположим, 15 минут), информация поступит на пульт диспетчера для определения дальнейших действий;

3) красная – значительные отклонения параметров психофизиологического состояния водителя от нормы. Сигнал подается водителю, диспетчеру, применяется система аварийной остановки.

Причем, во всех трех зонах отображается соответствующий внешний сигнал на кузове для других участников дорожного движения, визуально который можно, например, представить в виде чашки кофе соответствующего цвета (рис. 3).



Рисунок 3 – Пример внешнего визуального сигнала на кузове автомобиля (красная зона, желтая зона, зеленая зона)

Место его расположения следует произвести соответственно со всех четырех сторон АТС (рис. 4).

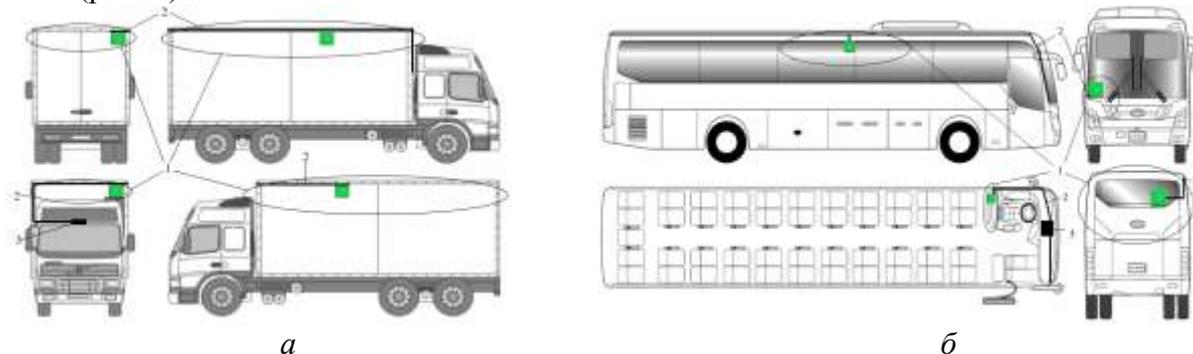


Рисунок 4 – Предполагаемый вариант размещения визуальных сигналов на кузове грузовых автомобилей (а) и автобусов (б): 1 – место размещения визуального сигнала; 2 – место размещения кабелей; 3 – место размещения блока управления системы

Общий принцип работы системы, состоящей из датчиков контроля как психофизиологического состояния водителя, так и уровня его работы вместе с блоком управления и внешними визуальными сигналами, можно представить следующим алгоритмом (рис. 5).

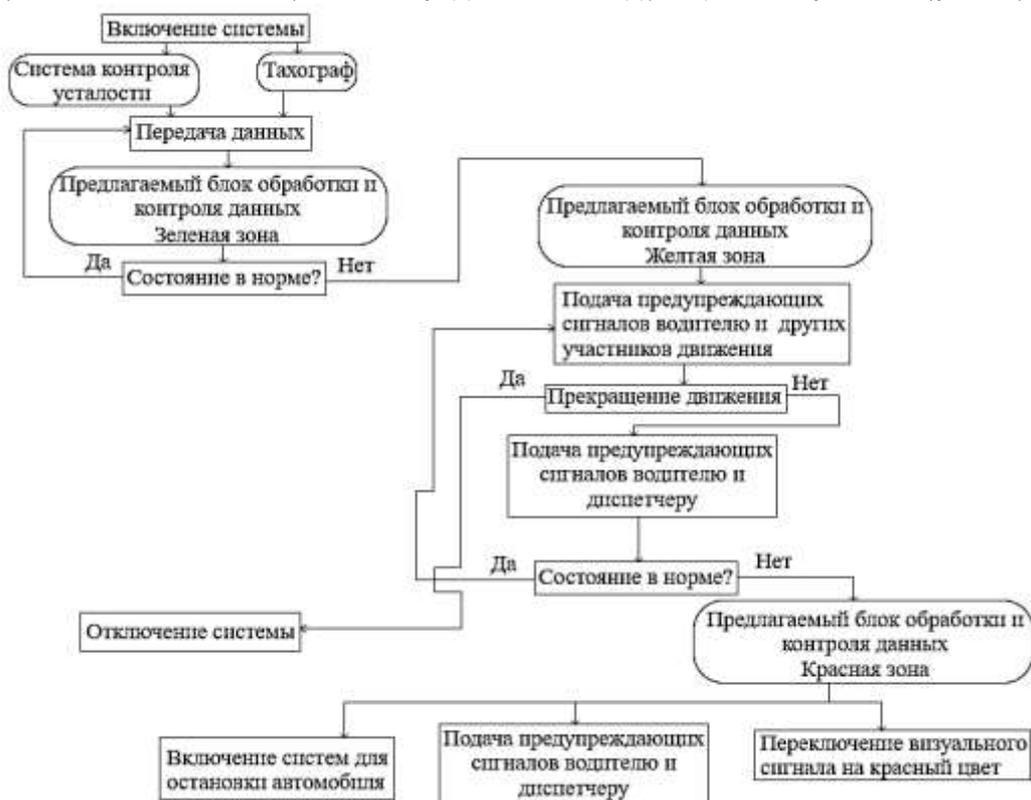


Рисунок 5 – Алгоритм работы предлагаемой системы контроля психофизиологического состояния водителя и уровня его работы с информированием других участников дорожного движения

Выводы

Таким образом, предлагаемая концепция информационного предупреждения позволит повысить уровень безопасности дорожного движения с позиции своевременного информирования других участников дорожного движения о текущем состоянии водителя конкретного АТС. Применение такого подхода наиболее актуально при эксплуатации грузовых автомобилей и автобусов в условиях междугородних перевозок, когда отрицательные факторы окружающей среды действуют на водителя более длительное время и часть которых не всегда удастся исключить при помощи соблюдения норм режима труда и отдыха.

Применение такой системы позволяет решить следующие частные задачи в процессе движения при отклонении психофизиологических параметров водителя от нормы:

- 1) предупреждение самого водителя о его собственном состоянии для реализации своевременных воздействий с его стороны;
- 2) своевременное предупреждение диспетчера о состоянии водителя для определения механизма дальнейших действий по управлению автомобилем;
- 3) своевременное предупреждение других участников дорожного движения для реализации действий минимизирующих риск возникновения ДТП с их участием (в первую очередь повышение дистанции и бокового интервала).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов Ю.А. Восприятие времени водителем как фактор безопасности дорожного движения // Психология. Психофизиология. – 2020. – Т. 13. – №3. – С. 102-110.
2. Агеев Е.В., Новиков А.Н., Виноградов Е.С. Модель восприятия водителем дорожной ситуации на первоначальном этапе подготовки // Мир транспорта и технологических машин. – 2021. – №2(73). – С. 99-105.
3. Алексеев Л.А., Кузнецов Ю.А. Физиология водителя и ее влияние на безопасность дорожного движения // Автотранспортное предприятие. - 2014. - №1. - С. 16-18.
4. Кудрин Р.А., Комаров Ю.Я., Лифанова Е.В., Дятлов М.Н. Методика определения и развития психофизиологических качеств, необходимых для эффективного управления автотранспортными средствами // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. – 2017. – №1(61). – С. 124-126.

5. Прохорова А.М. Использование психофизиологических и психологических показателей в профессиональном отборе водителей, осуществляющих пассажирские и грузовые перевозки // Современная наука. – 2020. – №2. – С. 53-58.
6. Петренко Н.В. Психофизиология труда и профессиональный отбор водителей // Вестник аграрной науки Дона. – 2017. – № 2(38). – С. 91-98.
7. Шабалина О.А., Кудрин Р.А., Болучевская В.В. [и др.] Психофизиологические качества успешного водителя пассажирского автотранспорта и их экспресс-диагностика // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. – 2019. – №3(71). – С. 74-77.
8. Дятлов М.Н., Агазаян А.Р., Шабалина О.А. Аппаратно-программный комплекс для тестирования профессиональных качеств водителей пассажирского автотранспорта на этапе профессионального отбора // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2016. – №12 (150). – С. 48-55.
9. Комаров Ю.Я., Кудрин Р.А., Лифанова Е.В., Дятлов М.Н. Определение профессионально важных качеств водителей, необходимых для эффективного управления пассажирским автотранспортом // Наука и техника транспорта. – 2016. – №2. – С. 14-18.
10. Комаров Ю.Я., Кудрин Р.А., Лифанова Е.В., Дятлов М.Н. Психофизиологические особенности трудовой деятельности водителей пассажирского автотранспорта // Автотранспортное предприятие. – 2015. – №11. – С. 7-10.
11. Евтюков С.С., Брылев И.С., Ворожейкин И.В. Оценка времени реакции водителя двухколесного механического транспортного средства при применении им торможения // Вестник гражданских инженеров. – 2019. – №6(77). – С. 277-283.
12. Янучкова О.Е. Повышение безопасности дорожного движения в условиях профессионального подбора водителей с учетом психофизиологических качеств // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2022. – №6. – С. 135-145.
13. Козин Е.С., Базанов А.В. Система идентификации водителя транспортного средства на основе биометрических данных // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2020. – №4. – С. 133-142.
14. О безопасности дорожного движения: Федеральный закон от 10 декабря 1995 г. № 196-ФЗ.
15. Нефедьев А.И., Нефедьев Д.И., Безбородов С.А., Гусев В.Г. Контроль состояния водителя во время движения автотранспортного средства // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2021. – №2(36). – С. 60-65.
16. Оценка и прогноз профессиональной надежности и профессионального риска водителей различных автотранспортных средств: Методические рекомендации. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2014. – 31 с.
17. Бонч-Бруевич В.В., Дементенко В.В., Кремез А.С., Макаев Д.В. Дистанционный контроль бодрствования водителя в рейсе // Автоматизация в промышленности. – 2015. – №2. – С. 33-35.
18. Самофалов И.В., Нефедьев А.И. Интеллектуальная система контроля психоэмоционального состояния водителя автотранспортного средства // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. – 2020. – №2. – С. 46-49.
19. Дементенко В.В., Дорохов В.Б. Оценка эффективности систем контроля уровня бодрствования человека оператора с учетом вероятностной природы возникновения ошибок при засыпании // Журнал высшей нервной деятельности. – 2013. – Т. 63. – № 1. – С. 24-32.
20. Об утверждении требований к тахографам, устанавливаемым на транспортные средства, категорий и видов транспортных средств, оснащаемых тахографами, правил использования, обслуживания и контроля работы тахографов, установленных на транспортные средства: Приказ Министерства транспорта РФ от 28 октября 2020 г. № 440.
21. Руководство пользователя системы спутникового мониторинга Wialon Local [Электронный ресурс] / Wialon Local. – 2022. – Режим доступа: https://help.wialon.com/help/wialon-local/latest/ru/user-guide/monitoring-system/reports/advanced-reports/reports-on-drivers#id-\ReportsonDriversv2204-dr_bindings_ru%D0

Басков Владимир Николаевич

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

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

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

E-mail: sedankin29@mail.ru

Игнатов Антон Валерьевич

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

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

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

E-mail: camohod1990@yandex.ru

Неволин Алексей Александрович

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

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

Магистрант

E-mail: nevolin_95@mail.ru

V.N. BASKOV, A.V. IGNATOV, A.A. NEVOLIN

IMPROVING THE SAFETY OF MOTOR VEHICLE OPERATION, TAKING INTO ACCOUNT DRIVER RELIABILITY INDICATORS

Abstract. The article considers the influence of driver reliability indicators on the risk of road accidents, as well as factors affecting the reliability indicator itself. The main causes of accidents in the share ratio are analyzed. The paper considers the general principle of the system of monitoring the psychophysiological state of the driver. A concept of informational warning other road users about the reduction of reliability indicators for the driver of a particular motor vehicle is proposed, especially for trucks and buses, performing long-distance trips.

Keywords: driver, car, reliability, fatigue, road safety, control, algorithm

BIBLIOGRAPHY

1. Kuznetsov Yu.A. Vospriyatie vremeni voditelem kak faktor bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya // Psikhologiya. Psikhofiziologiya. - 2020. - T. 13. - №3. - S. 102-110.
2. Ageev E.V., Novikov A.N., Vinogradov E.S. Model' vospriyatiya voditelem dorozhnoy situatsii na pervonachal'nom etape podgotovki // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2021. - №2(73). - S. 99-105.
3. Alekseev L.A., Kuznetsov Yu.A. Fiziologiya voditelya i ee vliyanie na bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya // Avtotransportnoe predpriyatie. - 2014. - №1. - S. 16-18.
4. Kudrin R.A., Komarov Yu.Ya., Lifanova E.V., Dyatlov M.N. Metodika opredeleniya i razvitiya psikhofiziologicheskikh kachestv, neobkhodimyykh dlya effektivnogo upravleniya avtotransportnymi sredstvami // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta. - 2017. - №1(61). - S. 124-126.
5. Prokhorova A.M. Ispol'zovanie psikhofiziologicheskikh i psikhologicheskikh pokazateley v professional'nom otbore voditeley, osushchestvlyayushchikh passazhirskie i gruzovye perevozki // Sovremennaya nauka. - 2020. - №2. - S. 53-58.
6. Petrenko N.V. Psikhofiziologiya truda i professional'nyy otbor voditeley // Vestnik agrarnoy nauki Dona. - 2017. - № 2(38). - S. 91-98.
7. Shabalina O.A., Kudrin R.A., Boluchevskaya V.V. [i dr.] Psikhofiziologicheskies kachestva uspeshnogo voditelya passazhirskogo avtotransporta i ikh ekspress-diagnostika // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta. - 2019. - №3(71). - S. 74-77.
8. Dyatlov M.N., Agazadyan A.R., Shabalina O.A. Apparato-programmnyy kompleks dlya testirovaniya professional'nykh kachestv voditeley passazhirskogo avtotransporta na etape professional'nogo otbora // Vestnik komp'yuternykh i informatsionnykh tekhnologiy. - 2016. - №12 (150). - C. 48-55.
9. Komarov Yu.Ya., Kudrin R.A., Lifanova E.V., Dyatlov M.N. Opredelenie professional'no vazhnykh kachestv voditeley, neobkhodimyykh dlya effektivnogo upravleniya passazhirskim avtotransportom // Nauka i tekhnika transporta. - 2016. - №2. - C. 14-18.
10. Komarov Yu.Ya., Kudrin R.A., Lifanova E.V., Dyatlov M.N. Psikhofiziologicheskies osobennosti trudovoy deyatel'nosti voditeley passazhirskogo avtotransporta // Avtotransportnoe predpriyatie. - 2015. - №11. - C. 7-10.
11. Evtyukov S.S., Brylev I.S., Vorozheykin I.V. Otsenka vremeni reaktsii voditelya dvukhkolesnogo mekhanicheskogo transportnogo sredstva pri primeneniim tormozheniya // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. - 2019. - №6(77). - S. 277-283.
12. Yanuchkova O.E. Povyshenie bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v usloviyakh professional'nogo pod-bora voditeley s uchetom psikhofiziologicheskikh kachestv // Intellekt. Innovatsii. Investitsii. - 2022. - №6. - S. 135-145.
13. Kozin E.S., Bazanov A.V. Sistema identifikatsii voditelya transportnogo sredstva na osnove biometricheskikh dannyykh // Intellekt. Innovatsii. Investitsii. - 2020. - №4. - S. 133-142.
14. O bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya: Federal'nyy zakon ot 10 dekabrya 1995 g. № 196-FZ.
15. Nefed'ev A.I., Nefed'ev D.I., Bezborodov S.A., Gusev V.G. Kontrol' sostoyaniya voditelya vo vremya dvizheniya avtotransportnogo sredstva // Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol'. - 2021. - №2(36). - S. 60-65.
16. Otsenka i prognoz professional'noy nadezhnosti i professional'nogo riska voditeley razlichnykh avtotransportnykh sredstv: Metodicheskie rekomendatsii. - M.: Federal'nyy tsentr gigieny i epidemiologii Rospotrebnadzora, 2014. - 31 s.
17. Bonch-Bruevich V.V., Dementienko V.V., Kremez A.S., Makaev D.V. Dstantsionnyy kontrol' boдрstvovaniya voditelya v reyse // Avtomatizatsiya v promyshlennosti. - 2015. - №2. - S. 33-35.
18. Samofalov I.V., Nefed'ev A.I. Intellektual'naya sistema kontrolya psikhoemotsional'nogo sostoyaniya voditelya avtotransportnogo sredstva // Energo- i resursosberezhenie: promyshlennost' i transport. - 2020. - №2. - S. 46-49.
19. Dementienko V.V., Dorokhov V.B. Otsenka effektivnosti sistem kontrolya urovnya boдрstvovaniya cheloveka operatora s uchetom veroyatnostnoy prirody vozniknoveniya oshibok pri zasypanii // Zhurnal vyshey nervnoy deyatel'nosti. - 2013. - T. 63. - № 1. - S. 24-32.
20. Ob utverzhdenii trebovaniy k takhografam, ustanavlivaemym na transportnye sredstva, kategoriy i vidov transportnykh sredstv, osnashchaemykh takhografami, pravil ispol'zovaniya, obsluzhivaniya i kontrolya raboty takhografov, ustanovlennykh na transportnye sredstva: Prikaz Ministerstva transporta RF ot 28 oktyabrya 2020 g. № 440.
21. Rukovodstvo pol'zovatelya sitemy sputnikovogo monitoringa Wialon Local [Elektronnyy resurs] / Wialon Local. - 2022. - Rezhim dostupa: https://help.wialon.com/help/wialon-local/latest/ru/user-guide/monitoring-system/reports/advanced-reports/reports-on-drivers#id-\ReportsonDriversv2204-dr_bindings_ru%D0

Baskov Vladimir Nikolaevich

State Technical University
Address: 410054, Russia, Saratov, Politechnicheskaya str.
Doctor of technical sciences, E-mail: sedankin29@mail.ru

Nevolin Alexey Alexandrovich

State Technical University
Address: 410054, Russia, Saratov, Politechnicheskaya str.
Master's student
E-mail: nevolin_95@mail.ru

Ignatov Anton Valeryevich

State Technical University
Address: 410054, Russia, Saratov, Politechnicheskaya str.
Candidate of technical sciences, E-mail: camoxod1990@yandex.ru

Научная статья

УДК656.13

doi:10.33979/2073-7432-2023-3-4(82)-90-97

Ц. ЦЗИНЬ

ПРИМЕНЕНИЕ АНАЛИЗА ДАННЫХ В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В КИТАЙСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКЕ

Аннотация. В данной статье рассматриваются методы обеспечения безопасности дорожного движения с использованием глубокого анализа данных, включая анализ факторов, влияющих на автомобильные аварии, а также инновационные подходы к применению технологии глубокого анализа данных в области безопасности дорожного движения. Эти исследования предоставляют новые направления и методы исследования для управления безопасностью транспорта и защиты жизни и имущества общественности.

Ключевые слова: SPSS 26, отбор данных, кластерный анализ, БДД, факторы, влияющие на ДТП, критерий хи-квадрат

Введение

Проблема безопасности дорожного движения всегда привлекала большое внимание. С быстрым развитием науки и техники, технология анализа данных уже используется в области прогнозирования транспортных потоков, предсказания дорожно-транспортных происшествий и обнаружения аномалий транспортных потоков для обеспечения безопасности дорожного движения. Добыча данных как метод анализа данных играет решающую роль в области безопасности дорожного движения. Анализируя и обрабатывая огромное количество транспортных данных, технология добычи данных может определить потенциальные угрозы безопасности дорожного движения и обеспечить более научное и эффективное основание для принятия решений о безопасности дорожного движения [1]. В данной статье будет рассмотрено применение добычи данных в предсказании дорожно-транспортных происшествий.

Прогнозирование дорожно-транспортных происшествий играет важную роль в повышении безопасности дорожного движения. Основываясь на анализе исторических данных о происшествиях, прогнозирование дорожно-транспортных происшествий направлено на предсказание места, времени и типа возможных будущих аварий, что способствует принятию мер по снижению риска их возникновения. Технология добычи данных играет ключевую роль в прогнозировании дорожно-транспортных происшествий, конкретные применения которых следующие:

1. Идентификация переменных, связанных с авариями

Технология добычи данных способствует идентификации переменных, связанных с возникновением дорожно-транспортных происшествий, таких как состояние дорог, погода и вождение. Раскрывая связь между этими переменными и возникновением происшествий, можно выявить потенциальные причины их возникновения. Глубокое понимание этих причин будет способствовать разработке целевых мер безопасности и политики со стороны органов управления дорожным движением [2].

2. Создание модели прогнозирования аварий

С использованием технологии добычи данных можно создать модели прогнозирования дорожно-транспортных происшествий. Эти модели, основанные на анализе исторических данных о происшествиях, предоставляют прогнозы для возможных будущих аварий. Эти прогнозы могут помочь органам управления дорожным движением заблаговременно разместить силы и ресурсы, снижая вероятность возникновения аварий [3].

3. Реальное предупреждение о рисках аварий

Технология добычи данных позволяет осуществлять реальное предупреждение о рисках аварий. Анализируя текущие транспортные данные, можно определить высокорисковые районы и периоды времени, предоставляя органам управления дорожным движением реаль-

ные предупреждения о рисках аварий. Эти предупреждения помогут соответствующим службам быстро принимать меры, предотвращая возникновение аварий [4].

4. Оценка эффективности и оптимизация

Технология добычи данных также может быть использована для оценки эффективности существующих политик и мер безопасности дорожного движения. Продолжая анализировать данные о происшествиях, можно определить недостатки текущих мер безопасности и предложить рекомендации по их оптимизации. Это поможет органам управления дорожным движением корректировать и оптимизировать существующие стратегии безопасности дорожного движения, повышая уровень безопасности на дорогах [5].

В заключение, технология добычи данных играет важную роль в предсказании дорожно-транспортных происшествий, обеспечивая сильную поддержку органам управления дорожным движением. Используя идентификацию переменных, связанных с авариями, создание моделей прогнозирования аварий, реализацию реального предупреждения о рисках аварий, а также оценку и оптимизацию существующих мер, технология добычи данных обеспечивает надежную защиту для повышения безопасности дорожного движения. В настоящее время применение технологии добычи данных в области безопасности дорожного движения привлекает все больше внимания. Путем определения переменных, связанных с авариями, создания моделей прогнозирования аварий, реализации реального предупреждения о рисках аварий, а также оценки и оптимизации существующих мер, технология добычи данных способствует повышению безопасности дорожного движения. С развитием науки и техники применение технологии добычи данных будет дальше расширяться, предоставляя больше возможностей и вызовов для области безопасности дорожного движения.

Материал и методы

В данном исследовании мы применяем метод кластерного анализа с использованием программного обеспечения SPSS для изучения применения больших данных в обеспечении безопасности дорожного движения. Исследование Ли и Янга (2019) демонстрирует применение иерархической кластеризации и метода k-средних для классификации данных о ДТП в городе Тайбэй, Тайвань. Результаты показали, что кластерный анализ может быть эффективным инструментом для выявления типичных сценариев аварий, а также для определения мест с повышенным риском ДТП [6]. Основная цель - проанализировать данные о дорожно-транспортных происшествиях в одном из китайских городов за период с 2018 по 2020 год.

Во-первых, собираются и обрабатываются данные о дорожно-транспортных происшествиях, включая информацию о местоположении, времени, погодных условиях, причинах аварии и ее последствиях. База данных состоит из 6990 ДТП, которые сортируются и классифицируются, а для каждой категории информации выполняется кодирование переменных. В процессе сбора и обработки данных данное исследование опирается на предыдущие работы, посвященные обработке данных о дорожно-транспортных происшествиях [7]. Кодирование и классификация данных проводятся для удобства последующего анализа с использованием статистического программного обеспечения SPSS26. Затем применяется критерий хи-квадрат χ^2 для анализа взаимосвязи между различными переменными собранных данных о дорожно-транспортных происшествиях.

Формула критерия хи-квадрат:

$$\chi^2 = \sum \left[\frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \right], \quad (1)$$

где O_{ij} - наблюдаемая частота;

E_{ij} - ожидаемая частота.

Проведение критерия хи-квадрат позволяет оценить, имеется ли значимая связь между разными категориями информации (такими как местоположение, время, погодные условия, причины аварии и последствия), и определить, какие факторы оказывают существенное влияние на возникновение дорожно-транспортных происшествий [8]. Окончательные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Категория	Степень травм					Кодирование переменных	Значение хи-квадрат	P
	Без травм	Легкие травмы	Смерть	Тяжелые травмы				
Всего	3288	3150	431	121				
Возраст								
<20	66	210	13	5	1	1551.627	0.000<0.05	
20-29	713	342	27	9	2			
30-39	1129	475	36	16	3			
40-49	863	563	63	16	4			
50-59	437	756	94	35	5			
60-69	67	556	120	25	6			
≥70	13	248	78	15	7			
Погода								
Солнечный день	2670	2594	342	102	1	18.596	0.029<0.05	
Пасмурный день	396	459	65	13	2			
Снежный день Дождливый день Туманный день	220	188	24	6	3			
Другая погода	2	9	0	0	4			
Время происшествия ДТП								
1:00-2:59	93	51	13	0	1	116.920	0.000<0.05	
3:00-4:59	78	60	18	6	2			
5:00-6:59	221	232	51	13	3			
7:00-8:59	429	462	36	8	4			
9:00-10:59	309	309	40	5	5			
11:00-12:59	287	297	27	18	6			
13:00-14:59	302	329	38	10	7			
15:00-16:59	347	346	41	12	8			
17:00-18:59	429	467	57	20	9			
19:00-20:59	291	261	48	13	10			
21:00-22:59	301	224	44	10	11			
23:00-00:59	201	112	18	6	12			
Тип перекрестка или участка дороги								
Обычный участок дороги	2171	2067	274	48	1	29.170	0.015<0.05	
Трехстороннее пересечение	342	384	57	20	2			
Четырехстороннее пересечение	606	522	72	25	3			
Участок дороги у обрыва	56	67	17	3	4			
Въезд/выезд на участке дороги	35	41	1	1	5			
Другие участки дороги	78	69	10	4	6			
Способ передвижения								
Мотоцикл; легкий мотоцикл	210	736	86	27	1	3834.746	0.000<0.05	
Пешком; велосипед	19	568	132	32	2			
Электровелосипед; электрический трицикл	209	1337	143	41	3			
Микроавтобус; легковой автомобиль	2144	307	21	8	4			
Легкий грузовик	180	18	7	1	5			
Тяжелый грузовик	355	26	8	2	6			
Другие виды транспортных средств	171	158	34	10	7			
Классификация причин аварии								
Другие действия, влияющие на БДД	1178	1046	186	45	1	132.182	0.000<0.05	
Неуступание дороги по правилам	523	529	43	21	2			
Неправомерные маневры: движение задним ходом, разворот, остановка, обгон, встречное движение	170	182	18	3	3			
Нарушение сигналов светофора	192	183	25	5	4			
Пьяный водитель	303	177	39	6	5			
Движение в неправильном направлении	166	228	14	6	6			
Несоблюдение безопасного расстояния на одной полосе	128	88	5	3	7			
Неправомерное перестроение и занятие полосы	117	137	10	2	8			
Водитель без прав, превышение скорости	213	238	57	10	9			
Другие нарушения ПДД	298	342	34	20	10			
Тип дороги								
Обычные городские дороги	1899	1719	154	48	1	122.627	0.000<0.05	
Городские магистрали	693	741	172	46	2			
Внегородские дороги	314	302	59	16	3			
Городские скоростные дороги	35	30	2	3	4			
Другие виды дорог	347	358	44	8	5			

Теория / Расчет

В данном исследовании мы использовали метод Q-кластерного анализа в социально-статистическом программном обеспечении SPSS для анализа выбранных данных о дорожно-транспортных происшествиях с целью определения образцов их возникновения [9]. Сравнительная вероятностные значения различных факторов в категориях, мы оценили их влияние на дорожно-транспортные происшествия и определили наиболее серьезные комбинации факторов, влияющих на степень тяжести полученных в результате аварии травм [10].

После кодирования переменных и присвоения им значений мы ввели данные о 6990 авариях в программное обеспечение SPSS 26. Затем мы провели операцию анализа кластерных данных, результаты которой представлены на рисунках 1 и 2.

	Времяприсшествия стивидТП	Возраст	Погода	Типперекрестка илиучасткадор оги	Способпередви жения	Классификация причинааварии	Типдороги	Степеньтравм
1	5	1	2	1	4	2	1	2
2	5	1	1	1	3	1	1	3
3	6	1	1	1	3	6	2	2
4	7	1	1	1	1	2	5	2
5	8	1	1	2	4	3	3	2
6	8	1	1	1	4	5	2	2
7	10	1	1	1	2	1	2	2
8	5	1	1	1	2	3	2	3
9	6	1	1	2	4	2	2	2
10	9	1	1	1	2	10	1	2
11	9	1	1	1	3	9	1	2

Рисунок 1 - данные выборки



Рисунок 2 - Редактирование кластеров

Метод кластерного анализа (Q-анализ) является мощным инструментом для выявления групп или кластеров сходных объектов на основе сравнения множества переменных [11]. В нашем случае, кластерный анализ поможет определить закономерности и связи между различными факторами, влияющими на безопасность дорожного движения. В дополнение к этому, при проведении анализа системных кластеров (иерархической кластеризации) в SPSS 26, квадрат евклидова расстояния (Squared Euclidean Distance) используется в качестве метода измерения расстояния для расчета сходства между точками данных [12]. Квадрат евклидова расстояния - это квадрат евклидова расстояния, формула для расчета которого следующая:

$$d^2 = (x_1 + x_2)^2 + (y_1 + y_2)^2 + \dots + (z_{n_1} + z_{n_2})^2, \tag{2}$$

где x_1, y_1, \dots, z_{n_1} - значения каждого измерения первого объекта данных;

x_2, y_2, \dots, z_{n_2} - значения каждого измерения второго объекта данных;

d - евклидово расстояние между двумя объектами данных.

В конечном итоге получаем результаты системной кластеризации.

После завершения настройки параметров системного кластерного анализа, SPSS автоматически выводит результаты, как показано на рисунке 3.

Опираясь на результаты дендрограммы и в соответствии с принципами обеспечения качественной кластеризации, такими как минимизация расстояний между объектами, оптимальное количество элементов в каждой категории и соответствие категорий теоретическим знаниям системы [13], мы классифицируем выборку по категориям. Визуализации частичных участников внутри каждой категории представлены на рисунке 4.

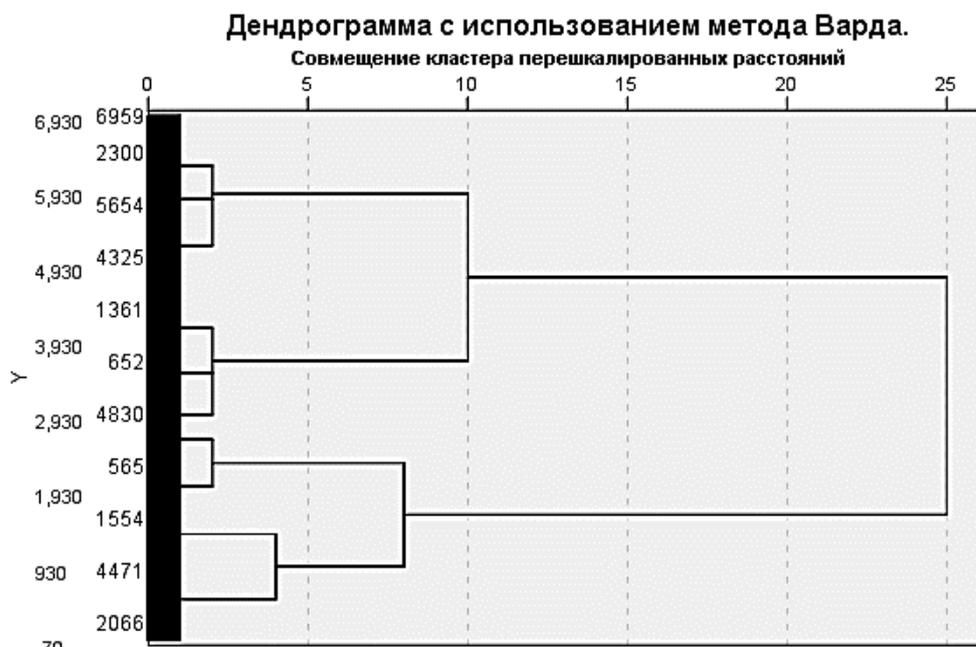


Рисунок 3 - Дендрограмма результатов кластеризации

Принадлежность к кластерам

Наблюдение	Кластеры 6	Кластеры 5	Кластеры 4	Кластеры 3	Кластеры 2
1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1
3	2	2	2	2	2
4	3	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1
6	2	2	2	2	2
7	4	3	3	1	1
8	1	1	1	1	1

Рисунок 4 - Члены кластеров

Основываясь на диаграмме дерева и принадлежности к кластерам, выбранные образцы данных могут быть сгруппированы в 2-6 категорий [14]. Однако, при разделении кластеризации на четыре категории, результаты становятся более ясными и понятными. Ниже представлен анализ результатов кластеризации, разделенных на четыре категории. Объединение значимых переменных для каждой категории представлено ниже:

Первая категория: 30-39 лет. 17:00-18:59. ясный день. обычный участок дороги. микроавтобусэлектровелосипедэлектрический трицикллегковой автомобиль. другие действия, влияющие на БДД или не уступные дороги по правилам. обычные городские дороги-городские магистрали

Вторая категория: 30-49 лет. 7:00-10:59. ясный день. обычный участок дороги. микроавтобусэлектровелосипедэлектрический трицикллегковой автомобиль. другие действия, влияющие на БДД; не уступные дороги по правилам. обычные городские дороги; городские магистрали

Третья категория: 20-39 лет. 5:00-8:59. ясный день. микроавтобус; легковой автобус; электровелосипеды; электрический трицикл. другие нарушение ПДД. обычная городская дорога или городские магистрали

Четвертая категория: 30-49 лет. 17:00-18:59;21:00-22:00.ясный день. обычный участок дороги. электровелосипеды; электрический трицикл или; микроавтобус; легковой автобус.

пьяный водитель и другие нарушения ПДД. обычная городская дорога или городские магистрали.

Результаты

В данной статье проводится детальное исследование данных о дорожно-транспортных происшествиях за три года в административном районе определенного города [15]. Первые три главы опираются на теорию дорожно-транспортной системы и анализируют факторы влияния и характеристики закономерностей дорожно-транспортных происшествий [16]. С применением подходящих методов обработки данных и проведением очистки данных, анализ был выполнен с использованием статистического программного обеспечения SPSS на основе семи исследовательских факторов: возраста основного виновника аварии, времени суток, перекрестков, типов дорог, способа передвижения, причины аварии и погодных условий [17]. В результате проведенного анализа были сделаны следующие выводы Существенные факторы, влияющие на возникновение дорожно-транспортных происшествий, включают:

С точки зрения возраста, группы людей от 20 до 39 лет имеют более высокий риск дорожно-транспортных происшествий, особенно люди в возрасте 30-39 лет. В отношении типов транспортных средств, электрические автомобили и легковые автомобили составляют наибольшую долю, а риск аварий на мотоциклах увеличивается.

Самая частая опасная комбинация, приводящая к ДТП, связана с возрастной группой 30-39 лет: водители малолитражных автомобилей или мотоциклов, нарушающие правила уступания дороги на перекрестках или обычных участках дороги в период с 7:00 до 10:59 утра и с 17:00 до 18:59 вечера на обычных городских дорогах.

Самая опасная комбинация, приводящая к ДТП, связана с возрастной группой 30-49 лет: водители электровелосипедов и легковых автомобилей, нарушающие закон из-за алкоголя или других противоправных действий, совершающие аварии с 5:00 до 8:59 утра, с 17:00 до 18:59 вечера и с 21:00 до 22:59 ночью.

Обсуждение

Исходя из этого, для снижения риска дорожно-транспортных происшествий, необходимо усилить контроль над соблюдением правил дорожного движения, особенно для указанных возрастных групп и типов транспортных средств, а также проводить профилактические мероприятия, направленные на уменьшение алкогольного и других видов нарушений за рулем.

Усиление контроля в периоды утренних и вечерних пиков, а также в особые временные интервалы: во время утренних и вечерних пиков, когда автомобили движутся плотно, большое количество пешеходов и транспортных средств может вызвать пробки и даже аварии [18]. Кроме того, в ночное время необходимо усилить контроль над дорожным движением, контролировать скорость автомобилей и предотвращать возникновение тяжелых аварий [19].

Обеспечение правильного движения мотоциклов и электровелосипедов: мотоциклы и электровелосипеды находятся в неблагоприятном положении на дорогах, и в случае аварии количество пострадавших и погибших может быть значительным [20]. Необходимо усилить контроль над такими транспортными средствами, обеспечить ношение шлемов водителями и безопасное движение [21].

Усиление пресечения нарушений: дорожные органы должны принимать эффективные меры для борьбы с пьяным вождением, превышением скорости и другими нарушениями [22].

Усиление контроля на перекрестках: определение оптимального количества трафиковых островов и планирование дорожных полос в соответствии с количеством транспортных средств и пешеходов для повышения безопасности движения [23].

Усиление обучения водителей и повышение их навыков вождения и способности справляться с непредвиденными ситуациями: усиление образования водителей и пешеходов в области правил движения, повышение безопасности для себя и окружающих, улучшение правового сознания населения в области безопасности дорожного движения [24].

Путем реализации этих мер, правительство и соответствующие органы могут снизить количество дорожно-транспортных происшествий и обеспечить безопасность на дорогах.

Выводы

В данном исследовании проводится глубокий анализ данных о дорожно-транспортных происшествиях в определенном городе и административном районе за период с 2018 по 2020 годы. Статья основана на теории дорожно-транспортных систем и анализирует факторы, влияющие на дорожно-транспортные происшествия, и их закономерности. В-первых, мы выбрали подходящий метод добычи данных и провели очистку данных. Затем, опираясь на системную теорию, мы выбрали семь исследовательских факторов: возраст ос-

нового виновника аварии, временной интервал, перекресток или участок дороги, тип дороги, вид транспорта, причина аварии и погодные условия. С помощью программного обеспечения для анализа SPSS мы провели исследование с использованием кластерного анализа и в конечном итоге получили результаты.

После тщательного анализа этих результатов мы предложили ряд рекомендаций по оптимизации мер безопасности на дорогах. Обеспечивая всеобъемлющее понимание и оценку существующих условий дорожного движения, данное исследование предоставляет полезные рекомендации и руководство для улучшения безопасности на дорогах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Abdel-Aty, M. A., Radwan, A. E. Modeling traffic accident occurrence and involvement // *Accident Analysis Prevention*. - 32(5). – P. 633-642.
2. Shankar V., Mannering F., Barfield W. Effect of roadway geometrics and environmental factors on rural freeway accident frequencies // *Accident Analysis & Prevention*. - 1995. - 27(3). – P. 371-389.
3. Lee C., Abdel-Aty M. Comprehensive analysis of vehicle-pedestrian crashes at intersections in Florida // *Accident Analysis Prevention*. - 2005. - 37(4). – P. 775-786.
4. Chen F., Song M. Traffic accident prediction: A temporal-spatial analysis approach // *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. - 20018. - 95. – P. 228-245.
5. Quddus M.A., Noland R.B., Chin H.C. An analysis of motorcycle injury and vehicle damage severity using ordered probit models // *Journal of Safety Research*. - 2007. - 38(5). – P. 523-535.
6. Lee J., Yang C. An exploration of traffic crash severity patterns using hierarchical clustering. *Accident Analysis Prevention*. - 2019. -125. – P. 177-186.
7. Delen D., Kuzey C., Uyar A. Measuring firm performance using financial ratios: A decision tree approach // *Expert Systems with Applications*. - 2014. - 41(12). - 5743-5753.
8. Chong M., Abraham A., Paprzycki M. Traffic accident data mining using machine learning paradigms // *Informatica*. – 2005. - 29(1). – P. 89-98.
9. Hair J.F., Black W.C., Babin B.J., Anderson R.E. *Multivariate Data Analysis (7th ed.)*. Pearson. – 2014.
10. Elvik R., Mysen A.B. Incomplete accident reporting: Meta-analysis of studies made in 13 countries // *Transportation Research Record*. – 1999. - 1665(1). – P. 133-140.
11. Punj G., Stewart D.W. Cluster analysis in marketing research: Review and suggestions for application. *Journal of Marketing Research*. – 1983. - 20(2). – P. 134-148.
12. Hair J.F., Black W.C., Babin B.J., Anderson R.E. *Multivariate data analysis (7th ed.)*. Pearson Education Limited. – 2014.
13. Milligan G.W., Cooper M.C. An examination of procedures for determining the number of clusters in a data set. *Psychometrika*. – 1985. - 50(2). – P. 159-179.
14. Jain A.K., Dubes R.C. *Algorithms for clustering data*. Prentice-Hall, Inc. – 1988.
15. Иванов А.А., Петров В.С. Анализ дорожно-транспортных происшествий в административном районе города. *Журнал Транспортная Инфраструктура*. – 2020. - 15(4). – P. 122-135.
16. Смирнов К.П., Сидоров М.В. Теория дорожно-транспортной системы и ее применение в анализе факторов влияния на ДТП. *Вестник Транспортных Исследований*. – 2019. - 8(2). – P. 67-79.
17. Михайлова О.Н., Лебедев А.Ю. Использование статистических методов в анализе дорожно-транспортных происшествий: возраст виновника, время суток и другие факторы. *Журнал Транспортная Безопасность*. – 2021. - 12(3). – P. 45-60.
18. Bíl M., Bílová M., Müller I. Critical factors in fatal collisions of adult cyclists with automobiles. *Accident Analysis Prevention*. – 2010. - 42(6). – P. 2132-2136.
19. Broughton J., Keigan M., Yannis G., Evgenikos P., Chaziris A., Papadimitriou E., Dupont E. Estimation of the real number of road casualties in Europe // *Safety Science*. - 2011. - 49(3). - 365-375.
20. Bernhoft I. M., Hels T., Lyckegaard A. Drinking and driving in six European countries: An overview of attitudes and self-reported behaviour. *Accident Analysis & Prevention*. 2014. – 62. – P. 210-221.
21. Kunadic I., Høye A., Sørensen M. The effectiveness of helmets in reducing head injuries among bicyclists // *Accident Analysis Prevention*. 2018. – 117. – P. 151-159.
22. Sagberg F., Selpi Bianchi Piccinini G.F., Engström J. A review of research on driving styles and road safety. *Human Factors*. 2015. - 57(7). – P. 1248-1275.
23. Wegman F., Zhang F., Dijkstra A. How to make more cycling good for road safety? *Accident Analysis & Prevention*. 2017. - 44(1). – P. 19-29.
24. Yannis G., Papadimitriou E., Evgenikos P. Characteristics of road traffic accidents at junctions in Europe // *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport*. – 2008. - Vol. 161. - №3. – P. 127-136

Цзинь Цзмин

Донской государственный технический университет

Адрес: 344010, Россия, Ростов-на-Дону, Театральный проспект, 81/298

Аспирант

E-mail: 1181878783@qq.com

APPLICATION OF DATA ANALYSIS IN ENSURING ROAD SAFETY IN THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA

Abstract. This article examines the methods of ensuring road safety using in-depth data analysis, including the analysis of factors affecting car accidents, as well as innovative approaches to the application of deep data analysis technology in the field of road safety. These studies provide new directions and research methods for transportation safety management and the protection of life and property of the public.

Keywords: SPSS 26, data selection, cluster analysis, road safety, factors affecting traffic accidents, chi-square criterion

BIBLIOGRAPHY

1. Abdel-Aty, M. A., Radwan, A. E. Modeling traffic accident occurrence and involvement // Accident Analysis Prevention. - 32(5). - R. 633-642.
2. Shankar V., Mannering F., Barfield W. Effect of roadway geometrics and environmental factors on rural freeway accident frequencies // Accident Analysis & Prevention. - 1995. - 27(3). - R. 371-389.
3. Lee C., Abdel-Aty M. Comprehensive analysis of vehicle-pedestrian crashes at intersections in Florida // Accident Analysis Prevention. - 2005. - 37(4). - R. 775-786.
4. Chen F., Song M. Traffic accident prediction: A temporal-spatial analysis approach // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. - 20018. - 95. - R. 228-245.
5. Quddus M.A., Noland R.B., Chin H.C. An analysis of motorcycle injury and vehicle damage severity using ordered probit models // Journal of Safety Research. - 2007. - 38(5). - R. 523-535.
6. Lee J., Yang C. An exploration of traffic crash severity patterns using hierarchical clustering. Accident Analysis Prevention. - 2019. -125. - R. 177-186.
7. Delen D., Kuzey C., Uyar A. Measuring firm performance using financial ratios: A decision tree approach // Expert Systems with Applications. - 2014. - 41(12). - 5743-5753.
8. Chong M., Abraham A., Paprzycki M. Traffic accident data mining using machine learning paradigms // Informatica. - 2005. - 29(1). - R. 89-98.
9. Hair J.F., Black W.C., Babin B.J., Anderson R.E. Multivariate Data Analysis (7th ed.). Pearson. - 2014.
10. Elvik R., Mysen A.B. Incomplete accident reporting: Meta-analysis of studies made in 13 countries // Transportation Research Record. - 1999. - 1665(1). - R. 133-140.
11. Punj G., Stewart D.W. Cluster analysis in marketing research: Review and suggestions for application. Journal of Marketing Research. - 1983. - 20(2). - R. 134-148.
12. Hair J.F., Black W.C., Babin B.J., Anderson R.E. Multivariate data analysis (7th ed.). Pearson Education Limited. - 2014.
13. Milligan G.W., Cooper M.C. An examination of procedures for determining the number of clusters in a data set. Psychometrika. - 1985. - 50(2). - R. 159-179.
14. Jain A.K., Dubes R.C. Algorithms for clustering data. Prentice-Hall, Inc. - 1988.
15. Ivanov A.A., Petrov V.S. Analiz dorozhno-transportnykh proisshestviy v administrativnom ray-one goroda. Zhurnal Transportnaya Infrastruktura. - 2020. - 15(4). - R. 122-135.
16. Smirnov K.P., Sidorov M.V. Teoriya dorozhno-transportnoy sistemy i ee primeneniye v analize faktorov vliyaniya na DTP. Vestnik Transportnykh Issledovaniy. - 2019. - 8(2). - R. 67-79.
17. Mikhaylova O.N., Lebedev A.Yu. Ispol'zovanie statisticheskikh metodov v analize dorozhno-transportnykh proisshestviy: vozrast vinovnika, vremya sutok i drugie faktory. Zhurnal Transportnaya Bezopasnost'. - 2021. - 12(3). - R. 45-60.
18. B?l M., Blov M., Mller I. Critical factors in fatal collisions of adult cyclists with automobiles. Accident Analysis Prevention. - 2010. - 42(6). - R. 2132-2136.
19. Broughton J., Keigan M., Yannis G., Evgenikos P., Chaziris A., Papadimitriou E., Dupont E. Estimation of the real number of road casualties in Europe // Safety Science. - 2011. - 49(3). - 365-375.
20. Bernhoft I. M., Hels T., Lyckegaard A. Drinking and driving in six European countries: An overview of attitudes and self-reported behaviour. Accident Analysis & Prevention. 2014. - 62. - R. 210-221.
21. Kunadic I., Hye A., Srensen M. The effectiveness of helmets in reducing head injuries among bicyclists // Accident Analysis Prevention. 2018. - 117. - R. 151-159.
22. Sagberg F., Selpi Bianchi Piccinini G.F., Engstrm J. A review of research on driving styles and road safety. Human Factors. 2015. - 57(7). - R. 1248-1275.
23. Wegman F., Zhang F., Dijkstra A. How to make more cycling good for road safety? Accident Analysis & Prevention. 2017. - 44(1). - R. 19-29.
24. Yannis G., Papadimitriou E., Evgenikos P. Characteristics of road traffic accidents at junctions in Europe // Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport. - 2008. - Vol. 161. - №3. - R. 127-136

Jin Ziming

Don State Technical University

Address: 344010, Russia, Rostov-on-Don, Teatralny Prospekt, 81/298

Graduate student

E-mail: 1181878783@qq.com

Научная статья

УДК 656.11

doi:10.33979/2073-7432-2023-3-4(82)-98-106

К.И. САРКИСОВА, Н.В. ЧЕРНЫХ

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОСТАНОВОЧНЫХ ПУНКТОВ НАЗЕМНОГО ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

***Аннотация.** Наземный городской пассажирский транспорт (НГПТ) играет ведущую роль при обеспечении эффективного и безопасного функционирования города, соединяя различные части города в единую систему. Для того, чтобы пассажиры смогли безопасно ожидать общественный транспорт (ОТ), а также совершать посадку и высадку из него, необходимо правильно оборудовать пространство для этого, а именно – остановочный пункт (ОП). ОП являются ключевыми элементами транспортной инфраструктуры, которые должны обеспечивать высокий уровень комфорта и безопасности для пассажиров. Для оценки эффективности ОП была разработана методика, учитывающая ряд критериев, позволяющих определить качество и эффективность функционирования ОП НГПТ.*

***Ключевые слова:** транспортная инфраструктура, остановочные пункты, городской пассажирский транспорт, параметры остановочных пунктов, экономические потери, информативность для пассажиров*

Введение

Отсутствие доступа к услугам НГПТ приводит к социальной изоляции, появляется необходимость в том, чтобы политика в области транспорта и землепользования была сосредоточена на доступности передвижений пассажиров в агломерации. Планирование транспортной системы осуществляется с использованием сложных методов, однако в планировании зачастую не берётся учёт развития необходимой транспортной инфраструктуры для ОТ (транспортно-пересадочных узлов (ТПУ), ОП, отстойно-разворотных площадок и т. д.) [1].

Остановки являются как начальными, так и конечными пунктами для поездок пассажиров, следовательно, их доступность играет ключевую роль в повышении как привлекательности, так и устойчивости развития ОТ [2]. Помимо доступности, безопасность является ещё одним ключевым фактором при проектировании ОП. Участок улично-дорожной сети, примыкающей к ОП, является местом пересечения маршрутов ОТ и других участников дорожного движения (легковых и грузовых автомобилей, пешеходов и велосипедистов), которые подвергаются риску участия в дорожно-транспортном происшествии [3].

Исследование [4] подтверждает, что у пешеходов вблизи ОП и ТПУ увеличивается риск вовлечения в ДТП, и создаётся угроза для их безопасности и здоровья. В целях повышения уровня безопасности транспортной системы в целом многие авторы указывают на необходимость проведения исследований не только по безопасности в салоне транспортного средства (ТС), но и на ОП и ТПУ [5]. Таким образом, существует потребность в разработке методики оценки эффективности функционирования ОП в агломерациях, основываясь на критериях, влияющих на всю транспортную систему в целом.

В теоретическом и расчётном разделе настоящей работы более подробно будут описаны критерии, являющиеся для каждого ОП уникальными, а в результатах работы будет представлена таблица с общими показателями, рассчитанные величины которых должны стремиться к единице, для всех ОП агломерации.

Материал и методы

Научное исследование было проведено на основе анализа материала научных статей, монографий, диссертаций по вопросам оценки эффективности функционирования ОП НГПТ агломераций. Расчётные формулы были сведены в единую методику оценки, адаптированы к местным условиям эксплуатации и дополнены. Методика оценки эффективности функционирования ОП включает в себя такие параметры, как отношение вместимости павильонов и

пассажиропотока, техническое оснащение ОП и уровень освещённости, время ожидания ОТ, пешеходную и транспортную доступность, экономические потери и др.

Теория

Технические параметры ОП имеют большое значение для обеспечения безопасности пассажиров и правильного функционирования транспортной системы в целом. Согласно нормативным документам [6, 7], ширина остановочной полосы принимается равной ширине основных полос для движения, длину остановочной полосы принимают в зависимости от числа одновременно останавливающихся ТС и их габаритов по длине (но не менее 13 м и не более 60 м). Для заездного кармана суммарная длина остановочной площадки должна составлять не менее 90 м (участки отгона 20-30 м, торможения 30 м, разгона 40 м). Расчётная длина ОП ($L_{опр}$) может быть определена по формуле (1).

$$L_{опр} = n \cdot (a \cdot l_1 \cdot k_1 + b \cdot l_2 \cdot k_2 + \dots + z \cdot l_n \cdot k_n), \quad (1)$$

где n – число машино-мест;

l_1, l_2, l_n – длина класса вместимости ТС;

a, b, z – вероятная доля ТС в общем потоке;

$k_1 = k_2 = k_n = 2$ – коэффициент плотности ТС на ОП [8].

По границе остановочной и посадочной площадок должен быть установлен бордюр. Длина посадочной площадки должна быть равна длине остановочной площадки, ширина должна быть не менее 3 м, следовательно, ближайший край павильона к проезжей части должен находиться на расстоянии не менее 3 м от него. Дорожная одежда на остановочных площадках должна быть равнопрочна дорожной одежде основных полос движения.

Для пассажиров использование транспортной инфраструктуры будет наиболее привлекательным, если ОП будет находиться в пределах пяти минут от основных точек приложения, что соответствует расстоянию около 400 м [9]. При определении расстояния между остановками маршрута необходимо искать оптимум между быстрым доступом для пешеходов к ОП (более частым расположением) и большей скоростью движения ОТ (увеличением расстояния между остановками). Планируя маршрут ОТ и транспортную систему, необходимо стремиться к достижению большей привлекательности НППТ для пассажиров. С увеличением пассажиро-км в транспортной сети ОТ увеличивается рентабельность всей системы, следовательно, сеть маршрутов ОТ должна быть сформирована таким образом, чтобы максимально удовлетворить потребности пассажиров НППТ. С увеличением времени или расстояния ходьбы от 5-минутного до 10-минутного расстояния уменьшается процент потенциальных пассажиров транспортной системы [10]. Таким образом, расположение ОП является одним из важных факторов успешного функционирования системы ОТ в целом.

Количество прибывающих пассажиров на ОП можно определить математическим методом – распределением Пуассона, поскольку пассажиры принимают решение о поездке независимо друг от друга [11]. Вероятность посадки или высадки n пассажиров на выбранном ОП можно определить по формуле (2).

$$P[n] = e^{-\lambda} \cdot \frac{\lambda^n}{n!}, \quad (2)$$

где λ – среднее количество пассажиров на ОП, которое можно определить по формуле (3).

$$\lambda = \frac{2 \cdot N}{f \cdot S}, \quad (3)$$

где N – пассажиропоток, чел./ч;

f – частота обслуживания ОП, авт./ч;

S – количество заданных ОП.

Фактическое количество ОП (S_a) зависит от количества заданных ОП (S), как показано на рисунке 1. Ожидаемое количество остановок стало возможным определить по формуле (4) [12].

$$S_a = S \cdot \left(1 - e^{-\frac{2N}{fS}}\right) \quad (4)$$

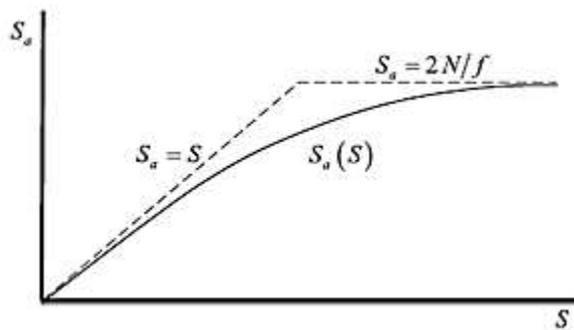


Рисунок 1 – Зависимость фактического количества ОП (S_a) от заданного количества (S)

Внедрим такой показатель, как количество ОП на 1 км. Для этого введём формулу (5).

$$\frac{S_a}{L} = \min \left\{ k_0 + k_1 \cdot \left(\frac{P}{L}\right)^{k_2} + k_3 \cdot \left(\frac{P}{L}\right)^{k_4} \cdot \frac{S}{L}, \right. \quad (5)$$

где k_0, k_1, k_2, k_3 и k_4 – параметры, которые определены в таблице 1.

Таблица 1 – Расчётные параметры

Параметр	Расчётная величина	Стандартная ошибка
k_0	-1,364	0,633
k_1	1,825	0,647
k_2	0,230	0,073
k_3	0,049	0,058
k_4	1,873	0,754

Можно определить разнообразие землепользования и степень сбалансированности различных видов землепользования в пределах зоны вокруг ОП (*Land use entropy (LUE)*) по формуле (6) [13].

$$LUE = \frac{\sum_{i=1}^n [P_{ij} \cdot \ln(P_{ij})]}{\ln(N_j)}, \quad (6)$$

где P_{ij} – процентное соотношение i -й категории землепользования в j -й исследуемой области, %;

N_{ij} – категория землепользования (жилые, коммерческие, промышленные и общественные территории).

Пример графического определения разнообразия землепользования изображён на рисунке 2.

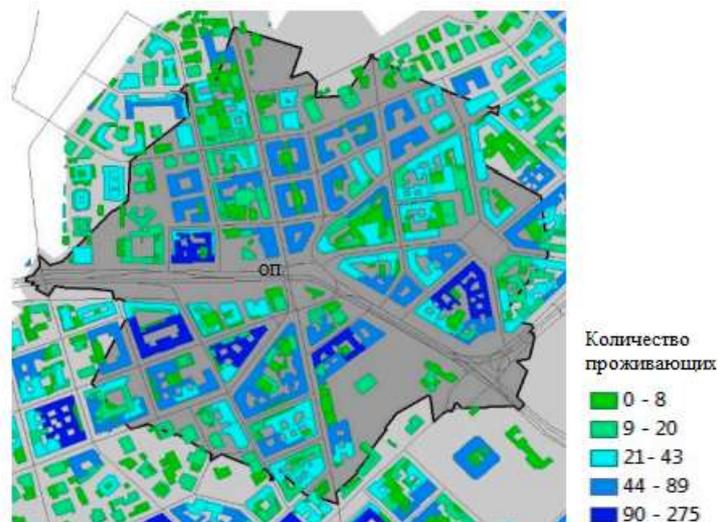


Рисунок 2 – Разнообразие землепользование территории, примыкающей к ОП района Номенанто, Рим (Италия)

Подробная методика определения экономических потерь в зоне ОП приведена в работе [9], в рамках данного исследования будут описаны основная формула для дальнейших расчётов и принцип действия. Экономические потери – это экономические убытки, которые

возникают у транспортных компаний и пассажиров в результате несоблюдения расписания НГПТ и несоответствия технических параметров ОП. Для определения экономических потерь в зоне ОП можно использовать различные методы, в том числе анализ данных об использовании НГПТ, опросы пассажиров, статистические данные о работе транспорта [14]. Экономические потери можно рассчитать по формуле (7).

$$P_{\text{экон}} = \frac{1,25}{t_{\text{ср}}^{\text{дв.тр.}}} \cdot (P_d + P_o), \quad (7)$$

где $t_{\text{ср}}^{\text{дв.тр.}}$ – средний интервал движения ОТ, мин.;

P_d – экономические потери от задержек транспорта, у. е./год;

P_o – экономические потери от остановок транспорта, у. е./год.

Транспортную задержку на одного пассажира ($W_{\text{пас}}$) можно определить по формуле (8) [14].

$$W_{\text{пас}} = W_{\text{тр}} \cdot 1,5, \quad (8)$$

где 1,5 – средняя наполняемость одного автомобиля, чел.;

$W_{\text{тр}}$ – транспортная задержка одного автомобиля на перекрёстке, авт./с, которую можно рассчитать по формуле (8).

$$W_{\text{тр}} = W_d + W_c, \quad (9)$$

где W_d – детерминированная составляющая задержки одного автомобиля на перекрёстке, авт./с;

W_c – случайная составляющая задержки одного автомобиля на перекрёстке, авт./с.

Рассчитать W_d и W_c можно по формулам (10) и (11) соответственно [15].

$$W_d = T \cdot \frac{(1-G/T)^2}{(2 \cdot q \cdot [1-x])}, \quad (10)$$

$$W_c = \frac{x^2}{2 \cdot [1-\frac{q}{S}]}, \quad (11)$$

где S – пропускная способность участка магистрали вблизи перекрёстка, пр. ед.;

x – уровень загрузки перекрёстка;

T – длительность цикла на перекрёстке, с;

G – эффективная длительность фазы зелёного сигнала светофора, с;

q – общая интенсивность движения вблизи перекрёстка, авт./с.

Число конфликтных ситуаций (N_1) на ОП может быть определено по формуле (12).

$$N_1 = \begin{cases} \frac{T_{1n} - t_{r1}}{l_2}, & \text{при } N_1 \leq n_{p2} \\ n_{p2}, & \text{при } N_1 > n_{p2} \end{cases}, \quad (12)$$

где T_{1n} – общее время движения по первому маршруту;

l_2 – интервал движения на дублирующем маршруте M_2 ;

t_{r1} – время движения прибывающего маршрута M_1 ;

n_{p2} – общее количество рейсов.

Расчёт

Посадочные площадки должны быть приподняты на 0,2 м над поверхностью остановочных площадок. Высота дверей ТС над поверхностью проезжей части для посадки и высадки в ТС в среднем равны 0,3 м (например, для автобусов марки *Volgabus* эта величина составляет 0,28-0,32 м, троллейбуса модели АКСМ-321 – 0,34 м) [16, 17]. В рамках методики оценки эффективности ОП предлагается увеличить высоту посадочной площадки до 0,3 м.

Расположение ОП должно быть таким, чтобы обеспечить хорошее покрытие области, охватываемой расстоянием, равным 400 м. Для оценки данного фактора можно внедрить такой показатель, как коэффициент охвата жилых территорий ($K_{\text{жт}}$), который представляет собой отношение территории, которая доступна для проживания (общая площадь за вычетом дорог, железнодорожных переездов и географических ограничений (рек, возвышенностей и т. д.) ($S_{\text{пр}}$)) к общей площади территории ($S_{\text{тер}}$), которую пешеход может пройти за нормативное время движения, равное 5-10 минутам. Зная среднюю скорость движения человека (1, 2

м/с) и время движения до ОП, равное 7,5 минутам (450 с), стало возможным рассчитать площадь всей охватываемой территории по формуле (13).

$$S_{\text{тер}} = \pi \cdot (R)^2 = \pi \cdot (v \cdot t_{\text{ср}}^{\text{дв.пеш.}})^2 \quad (13)$$

где R – расстояние (радиус описываемого круга), которое может пройти пешеход за 7,5 минут;

v – средняя скорость движения пешехода, принимаемая 1,2 м/с;

$t_{\text{ср}}^{\text{дв.пеш.}}$ – среднее время движения от места назначения до ОП, с.

Подставляя данные в формулу (13), получим, что $S_{\text{тер}} = 0,92 \text{ км}^2$. Следовательно, определение коэффициента охвата жилых территорий может быть рассчитано по формуле (14).

$$K_{\text{жт}} = \frac{S_{\text{тер}} - S_{\text{пр}}}{S_{\text{тер}}} = \frac{0,92 - S_{\text{пр}}}{0,92} \quad (14)$$

Важно учесть расположение ОП в агломерации и её доступность для пассажиров. ОП должны быть расположены в удобных местах (близко к основным достопримечательностям и общественным местам) и иметь доступ к пешеходным дорожкам. Для расчёта среднего времени движения пешеходов до ОП ($t_{\text{ср}}^{\text{дв.пеш.}}$) была разработана формула (15).

$$t_{\text{ср}}^{\text{дв.пеш.}} = \frac{\frac{S}{v} + \sum(T \cdot n_{\text{св}}) + \Delta t}{k_{\text{непр}}}, \quad (15)$$

где S – расстояние от пункта назначения до ОП, м;

v – средняя скорость пешехода (принимается 1,2 м/с);

T – светофорный цикл, с;

$n_{\text{св}}$ – количество светофоров, встречаемых на пути движения;

Δt – время, затрачиваемое на переход по подземным или надземным пешеходным переходам;

$k_{\text{непр}}$ – коэффициент непрямолинейности УДС (принимается от 1,1 до 1,4).

Для того, чтобы оценить полный массив данных, полученных в результате расчётов по данной методике, оптимальным решением будет свести их к общему показателю методом вычисления среднего арифметического, поскольку все представленные показатели являются независимыми друг от друга.

Введём понятие «эталонный ОП» – это ОП, показатели которого, согласно предложенной методике, находятся в доверительном рассчитанном диапазоне с определённым целеполаганием (стремлением величины к максимуму или минимуму). В рамках методики необходимо провести сравнение выбранного ОП с эталонным, затем проанализировать и выявить те факторы, что являются ниже или выше принятого за нормативный.

Рассчитаем величину среднего арифметического показателя «эталонного ОП»:

– длина ОП должна находиться в диапазоне от 13 до 60 м;

– среднее расстояние между ОП в агломерации должно составлять около 400-600 м, соответственно, к одному километру количество ОП будет равным от 1,67 до 2,5 ОП/км [18];

– транспортная задержка, приходящаяся на весь транспортный поток, должна быть в диапазоне равном от 0 до 4800 ч/год, т. е. до 12 ч/день [19];

– число конфликтных ситуаций в целях обеспечения безопасности должно быть сведено к минимуму, в рамках данной методики будет приниматься в диапазоне от 0 до 5 ($n_{\text{п2}}$);

– средние экономические затраты должны быть менее 8640 у.е./год или же 24 у.е./день.

Соответственно, рассчитав показатель «эталонного ОП» с помощью среднего арифметического стало известно, что эта величина будет находиться в диапазоне от 14,67 до 103,57.

Результаты и обсуждение

Сведём критерии оценки, которые не зависят от индивидуальных свойств ОП, в таблицу 2.

Таблица 2 – Предлагаемый метод оценки на основе выявленных факторов

№ п/п	Критерий	Ко-эф-т	Предлагаемый метод оценки	Описание
1	Ширина остановочной площадки	$K_{ш}$	$K_{ш} = \frac{a_{ост}}{a_{пч}}$ <p>где $a_{ост}$ – ширина остановочной площадки; $a_{пч}$ – ширина основной полосы проезжей части.</p>	Коэффициент рассчитывается как ширина остановочной площадки к ширине основных полос проезжей части. Согласно нормативной документации, $a_{ост}$ должен быть равен $a_{пч}$, соответственно, $K_{ш} \rightarrow 1$.
2	Длина остановочной площадки	$K_{д}$	$K_{д} = \frac{L_{опф}}{L_{опр}}$ <p>где $L_{опф}$ – фактическая длина остановочной площадки (значение должно быть больше 13); $L_{опр}$ – расчётная длина остановочной площадки.</p>	Коэффициент рассчитывается как отношение фактической длины остановочных площадок к расчётной (следует принимать в зависимости от числа одновременно останавливающихся автобусов и их габаритов по длине).
3	Высота посадочной площадки	$K_{в}$	$K_{в} = \frac{h_{пос} - h_{ост}}{0,3}$ <p>где $h_{пос}$ – высота посадочной площадки; $h_{ост}$ – высота остановочной полосы.</p>	Коэффициент учитывает то, что посадочные площадки должны быть приподняты на 0,3 м над поверхностью остановочных площадок. Коэффициент стремится к 1.
4	Длина заездного «кармана»	$K_{д}^к$	$K_{д}^к = \frac{l_{ф}^{отг} + l_{ф}^{торм.} + l_{ф}^{раз}}{20 + 30 + 40} = \frac{l_{ф}^к}{90}$	Коэффициент показывает отношение фактической длины заездного кармана (сумма длин участков для отгона ($l_{ф}^{отг}$), торможения ($l_{ф}^{торм.}$) и разгона ($l_{ф}^{раз}$)) к нормативному значению (90 м).
5	Ширина посадочной площадки	$K_{шп}$	$K_{шп} = \frac{a_{п}}{3,0}$ <p>где $a_{п}$ – фактическая ширина посадочной площадки.</p>	Коэффициент, учитывающий ширину посадочной площадки, т. е. отношение фактической ширины посадочной площадки к нормативной (3 м).
6	Длина посадочной площадки	$K_{дп}$	$K_{дп} = \frac{b_{пос}}{b_{ост}}$ <p>где $b_{пос}$ – длина посадочной площадки; $b_{ост}$ – длина остановочной площадки.</p>	$K_{дп}$ показывает, что длина посадочной площадки должна быть не менее длины остановочной площадки.
7	Тип автопавильона	$K_{ап}$	$K_{ап} = 1$ – при наличии закрытого павильона, $K_{ап} = 0,5$ – при наличии открытого павильона, $K_{ап} = 0$ – при отсутствии автопавильона.	
8	Выбор типа покрытия посадочной площадки	$K_{покр.}$	$K_{покр.} = \frac{c_{покр.фак.}}{c_{покр.расч.}}$	$K_{покр.} = 1$ при соответствии требованию; $K_{покр.} = 0,5$ при неоднородном покрытии схожего материала; $K_{покр.} = 0$ при грунтовом или песчаном покрытии остановочной площадки с твёрдым покрытием основной проезжей части.
9	Встречные направления ОП	$K_{вн}$	$K_{вн} = \frac{r}{r_0}$ <p>где r – существующее расстояние между ОП встречных направлений, м; r_0 – требуемое расстояние между ОП встречных направлений, м.</p>	Коэффициент может быть рассчитан при условии, что проезжая часть более 15 м шириной. С проезжей частью менее 15 м шириной расстояние между ОП НГПТ встречных направлений следует принимать от 30 до 50 м.

10	Отношение вместимости павильона и пассажиропотока	$K_{пп}$	$K_{пп} = \frac{S_{пзф}}{S_{пзр}} = \frac{S_{пзф}}{0,7 \cdot \frac{P_{пасс}}{t_{дв.тр.ср}}}$	Отношение фактической площади павильона ($S_{пзф}$) к расчётной ($S_{пзр}$). Количество пассажиров на ОП – $P_{пасс}$. 0,7 м ² – площадь павильона, необходимая для одного пассажира (на данный момент расчёт осуществляется значением 0,25 м ²), в целях повышения качества обслуживания.
11	Средний интервал движения ОТ	$t_{ср}^{дв.тр.}$	$t_{ср}^{дв.тр.} = \frac{\sum t_{дв}}{\sum n}$	Коэффициент помогает определить средний фактический интервал движения ОТ. В рамках данного исследования максимальный интервал движения принят равным пяти минутам.
12	Среднее время движения пешехода до ОП	$t_{ср}^{дв.пеш.}$	$t_{ср}^{дв.пеш.} = \frac{\frac{s}{v} + \sum(T \cdot n_{св}) + \Delta t}{1,2}$	Среднее время движения пешехода до ОП должно быть не более 10 минут (принято с учётом мнения населения).
13	Количество припаркованных машин на ОП	$n_{пм}$	$n_{пм} = n_1 + n_2 + \dots + n_N$	$n_{пм}$ указывает количество ТС, нарушающих правила парковки (въезд на ОП).
14	Уровень освещённости ОП	$K_{осв}$	$K_{осв} = 1$ при освещении больше или равном 10 лк; $K_{осв} = 0$ при освещении меньше 10 лк.	
15	Среднее время обслуживания НГПТ ОП	$T_{ср}^{обсл.}$	$T_{ср}^{обсл.} = t_T + t_{озд} + (t_{п-в} \cdot K_{нз} + t_{п-в}) + t_M$ где t_T – время торможения ТС; $t_{озд}$ – время открытия и закрытия дверей (3,5–5 с); $K_{нз}$ – коэффициент неравномерной занятости ОТ ОП; $t_{п-в}$ – время посадки и высадки пассажиров, с; t_M – время манёвров при заезде в «карман», с.	Фактическое время простоя ТС на ОП можно сравнить со средним временем обслуживания ОТ, которое не должно превышать значения среднего времени. $K_{нз}$ – коэффициент неравномерной занятости ОТ ОП, который можно найти как отношение количества пассажиров, вошедших в салон ТС на этом ОП, к среднему количеству пассажиров, вошедших в ТС на всех предыдущих остановках.
16	Технические средства организации дорожного движения	$K_{тех}$	$K_{тех.с.} = \frac{n_з + n_p + n_{огр}}{n_{тех}}$	Коэффициент учитывает наличие технических средств организации движения на ОП, к которым можно отнести наличие знаков ($n_з$) 5.16 – «Место остановки автобуса и/или троллейбуса» или 5.17 – «Место остановки трамвая»; разметки (n_p): 1.17.1 (для трамвая 1.17.2), 1.23.1 и разметка для «кармана» 1.11; ограждений ($n_{огр}$) – боллард [20].
17	Вместимость ТС на ОП	K_v	$K_v = \frac{P}{CEILING \frac{3600}{T_{ср}^{обсл.}}}$	Коэффициент можно найти как отношение заявленного числа ТС ОТ, проходящих через ОП, к фактическому числу ТС.

Выводы

Оценка эффективности функционирования ОП НГПТ является одной из ключевых задач повышения качества оказываемых услуг ОТ в агломерации. ОП оказывают влияние на комфорт и безопасность пассажира во время ожидания ТС, а также на общую скорость движения ТС НГПТ. Оценка эффективности функционирования ОП должна основываться на полном комплексе показателей. Несмотря на то, что разработка методики оценки эффективности функционирования ОП является сложной и многокритериальной задачей, её решение имеет большое значение для пассажиров ОТ, поскольку это позволит повысить качество оказываемых услуг НГПТ, сократить затраты на его эксплуатацию и обслуживание и сделать городскую среду более комфортной и безопасной для населения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hawas Y.E., Hassan M.N., Abulibdeh A. A multi-criteria approach of assessing public transport accessibility at a strategic level // *Journal of Transport Geography*. – 2016. – 57(2). – P. 19-34. – DOI 10.1016/j.jtrangeo.2016.09.011
2. Corazza M.V., Favaretto N. A methodology to evaluate accessibility to bus stops as a contribution to improve sustainability in urban mobility // *Sustainability*. – 2019. – 11(3). – P. 23. – DOI 10.3390/su11030803.
3. Tubis A., Skupień E., Rydlewski M. Method of assessing bus stops safety based on three groups of criteria // *Sustainability*. – 2021. – 13(15). – P. 8275. – DOI 10.3390/su13158275
4. Ulak M.B. Multivariate random parameter Tobit modeling of crashes involving aging drivers, passengers, bicyclists, and pedestrians: Spatiotemporal variations // *Accident; Analysis and Prevention*. – 2018. – 121. – P. 1-13. – DOI 10.1016/j.aap.2018.08.031
5. Steg L., Gifford R. Sustainable transport and quality of life // *Uilding blocks for sustainable transport policy: Obstacles, trends, solutions*. – 2008. – 121. – P.1-13.
6. ГОСТ Р 52766–2007. Дороги автомобильные общего пользования. Элементы обустройства. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2008. – 31 с.
7. ОСТ 218.1.002–2003 Автобусные остановки на автомобильных дорогах. Общие технические требования. – М.: Информавтодор, 2003. – 21 с.
8. Чернова Г.А. Организация безопасной перевозки пассажиров с учетом эксплуатационной и экологической составляющих: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Волгоград, 2005. – 20 с.
9. Boyce D. Urban transit: operations, planning, and economics, edited by Vukan R. Vuchic // *Journal of Regional Science*. – 2006. – 46(3). – P. 566-568. – DOI 10.1111/j.1467-9787.2006.00453_2.x
10. Garunović N.V. Prikaz metoda za utvrđivanje pozicije autobuskih stajališta // *Tehnika – saobraćaj* 65. – 2018. – 6. – P. 839-843. – DOI 10.5937/tehnika1806839G
11. Tirachini A. The economics and engineering of bus stops: Spacing, design and congestion // *Transportation Research Part. – 2014. – A (59). – P. 37-57.*
12. Hauer E. Fleet selection for public transportation routes [Электронный ресурс] / trid.trb.org: [сайт]. – 1969-3. – Режим доступа: <https://trid.trb.org/view/131690>.
13. Cervero R., Kockelman K. Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design // *University of California at Berkley Institute Urban and Regional Development*. – 1996. – 20 p.
14. Врубель Ю.А. Исследования в дорожном движении: учебно-методическое пособие к лабораторным работам для студентов специальности 1-44 01 02 «Организация дорожного движения» Белорусский национальный технический университет. – Минск: БНТУ, 2007. – 177 с.
15. Попова О.В. Разработка методики планирования приоритетного движения наземного общественного транспорта: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – СПб, 2003. – 27 с.
16. Технические характеристики автобусов марки Volgabus [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.volgabus.ru/>.
17. Технические характеристики троллейбусов марки АКСМ 321-00 [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://eltroll2.ru/Troll_32100.php.
18. Горев А.Э., Попова О.В., Солодкий А.И. Городской транспортный комплекс: учебник. – М.: КНОРУС, 2022. – 274 с.
19. Капский Д.В., Самойлович Т.Н. Методика определения экономических потерь в зоне остановочных пунктов маршрутного пассажирского транспорта // *Современные проблемы транспортного комплекса России*. – 2013. – С. 145-152.
20. ГОСТ Р 52899–2019. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств. – М.: Стандартинформ, 2019. – 134 с.

Саркисова Карина Ивановна

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

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

Студент

E-mail: karinko-2003@yandex.ru

Черных Наталья Владимировна

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

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

К.т.н., доцент кафедры транспортных систем

E-mail: vasnat_710@mail.ru

METHODOLOGY DEVELOPMENT FOR EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF THE PUBLIC TRANSIT BUS STOPS FUNCTIONING

Abstract. Public transit be pivotal in ensuring the efficient and safe functioning of the city, connecting various parts of the city into a single system. For passengers to be able to safely wait for public transport, as well as to board and disembark from it, it is necessary to properly equip the space for this, namely, a bus stop. Bus stops are key elements of the transport infrastructure, which should provide a high level of comfort and safety for passengers. To assess the effectiveness of bus stops, a methodology has been developed that considers several criteria to determine the quality and efficiency of the public transit bus stops functioning.

Keywords: transport infrastructure, bus stops, public transit, bus stops parameters, economic losses, information content for passengers

BIBLIOGRAPHY

1. Hawas Y.E., Hassan M.N., Abulibdeh A. A multi-criteria approach of assessing public transport accessibility at a strategic level // Journal of Transport Geography. - 2016. - 57(2). - P. 19-34. - DOI 10.1016/j.jtrangeo.2016.09.011
2. Corazza M.V., Favaretto N. A methodology to evaluate accessibility to bus stops as a contribution to improve sustainability in urban mobility // Sustainability. - 2019. - 11(3). - P. 23. - DOI 10.3390/su11030803.
3. Tubis A., Skupie? E., Rydlewski M. Method of assessing bus stops safety based on three groups of criteria // Sustainability. - 2021. - 13(15). - P. 8275. - DOI 10.3390/su13158275
4. Ulak M.B. Multivariate random parameter Tobit modeling of crashes involving aging drivers, passengers, bicyclists, and pedestrians: Spatiotemporal variations // Accident; Analysis and Prevention. - 2018. - 121. - P. 1-13. - DOI 10.1016/j.aap.2018.08.031
5. Steg L., Gifford R. Sustainable transport and quality of life // Uilding blocks for sustainable transport policy: Obstacles, trends, solutions. - 2008. - 121. - P.1-13.
6. GOST R 52766-2007. Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Elementy obustroystva. Obshchie trebovaniya. - M.: Standartinform, 2008. - 31 s.
7. OST 218.1.002-2003 Avtobusnye ostanovki na avtomobil'nykh dorogakh. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. - M.: Informavtodor, 2003. - 21 s.
8. Chernova G.A. Organizatsiya bezopasnoy perevozki passazhirov s uchetom ekspluatatsionnoy i ekologicheskoy sostavlyayushchikh: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. - Volgograd, 2005. - 20 s.
9. Boyce D. Urban transit: operations, planning, and economics, edited by Vukan R. Vuchic // Journal of Regional Science. - 2006. - 46(3). - P. 566-568. - DOI 10.1111/j.1467-9787.2006.00453.2.x
10. Garunovi? N.V. Prikaz metoda za utvr?ivanje pozicije autobuskih stajali?ta // Tehnika - saobra?aj 65. - 2018. - 6. - P. 839-843. - DOI 10.5937/tehnika1806839G
11. Tirachini A. The economics and engineering of bus stops: Spacing, design and congestion // Transportation Research Part. - 2014. - A (59). - P. 37-57.
12. Hauer E. Fleet selection for public transportation routes [Elektronnyy resurs] / trid.trb.org: [sayt]. - 1969-3. - Rezhim dostupa: <https://trid.trb.org/view/131690>.
13. Cervero R., Kockelman K. Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design // University of California at Berkley Institute Urban and Regional Development. - 1996. - 20 p.
14. Vrubel' Yu.A. Issledovaniya v dorozhnom dvizhenii: uchebno-metodicheskoe posobie k laboratornym rabotam dlya studentov spetsial'nosti 1-44 01 02 "Organizatsiya dorozhnogo dvizheniya" Belorusskiy natsio-nal'nyy tekhnicheskiiy universitet. - Minsk: BNTU, 2007. - 177 s.
15. Popova O.V. Razrabotka metodiki planirovaniya prioritetnogo dvizheniya nazemnogo obshchestvenno-go transporta: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. - SPb, 2003. - 27 s.
16. Tekhnicheskie kharakteristiki avtobusov marki Volgabus [Elektronnyy resurs] / Rezhim dostupa: <https://www.volgabus.ru/>.
17. Tekhnicheskie kharakteristiki trolleybusov marki AKSM 321-00 [Elektronnyy resurs] / Rezhim do-stupa: https://eltroll2.ru/Troll_32100.php.
18. Gorev A.E., Popova O.V., Solodkiy A.I. Gorodskoy transportnyy kompleks: uchebnik. - M.: KNORUS, 2022. - 274 s.
19. Kapskiy D.V., Samoylovich T.N. Metodika opredeleniya ekonomicheskikh poter' v zone ostanovochnykh punktov marshrutnogo passazhirskogo transporta // Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii. - 2013. - S. 145-152.
20. GOST R 52899-2019. Tekhnicheskie sredstva organizatsii dorozhnogo dvizheniya. Pravila primeneniya dorozhnykh znakov, razmetki, svetoforov, dorozhnykh ograzhdeniy i napravlyayushchikh ustroystv. - M.: Standartinform, 2019. - 134 s.

Sarkisova Karina Ivanovna

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

Address: 190005, Russia, St. Petersburg

Student

E-mail: karinko-2003@yandex.ru

Chernykh Natalia Vladimirovna

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

Address: 190005, Russia, St. Petersburg

Candidate of technical sciences

E-mail: vasnat_710@mail.ru

Научная статья

УДК 656.025

doi:10.33979/2073-7432-2023-3-4(82)-107-116

И.Д. БЕШЕНЦЕВ, А.И. БЕЛЯЕВ

ФОРМИРОВАНИЕ I ЭТАПА ПЛАНА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТРАМВАЙНОГО ХОЗЯЙСТВА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА: ОПРЕДЕЛЕНИЕ КЛЮЧЕВЫХ ЦЕЛЕЙ И ЗАДАЧ

***Аннотация.** Рассмотрены основные положения, характеристика и элементы первого этапа авторского Плана восстановления и развития трамвайного хозяйства Санкт-Петербурга. Указана важность процедуры восстановления развития линий электротранспорта, а также обеспечения полного инженерно-технологического приоритета трамвая перед остальными видами транспорта. Предложена методика проектирования транспортной системы мегаполиса с помощью теории принятия решений в условиях неопределённого состояния среды исследования. Использование предполагаемых результатов планируется расширить до пяти этапов в направлении развития Санкт-Петербурга, в дальнейшем – в направлении восстановления, развития и интеграции трамвайных хозяйств других городов России и мира.*

***Ключевые слова:** транспортная система, электротранспорт, легкорельсовый трамвай (ЛРТ), теория принятия решений*

Введение

Целью работы является разработка системы восстановления трамвайного хозяйства Санкт-Петербурга, основанной на интеллектуальных технологиях теории принятия решений. В настоящее время в регионах нашей страны реализуются программы по повышению качества перевозок на городском общественном транспорте. Отдельное внимание уделено электрическому транспорту: на его развитие направлено до 231 млрд. руб., в пилотном проекте участвует 11 городов РФ. Однако, систематическое недофинансирование и резкий рост автомобилизации, произошедшие по причине перехода на рыночную экономику, привело не только к хроническому износу инфраструктуры и подвижного состава, но также и закрытию многих эффективных трамвайных линий [20]. На фоне общей ситуации с ГЭТ в России, Санкт-Петербург считается образцовым городом по содержанию и развитию электротранспорта. Однако, если более подробно рассматривать ситуацию, то можно заметить, насколько сократились два основных критерия оценивания развития трамвайной системы: общая длина одиночного пути – на 158 км., и количество вагонов – на 1335. Были ликвидированы в основном трамвайные линии в центральной части города. Так как Санкт-Петербург – второй город в России по числу населения, и нагрузка на общественный транспорт растёт, я считаю, что необходимо задуматься не только о реконструкции существующей инфраструктуры и закупке нового подвижного состава, которую производят сейчас, а также о восстановлении ликвидированных линий, которые обеспечат эффективную связь районов и разгрузят остальные виды транспорта, и прежде всего, уровень автомобилизации [19]. В данной НИР я рассмотрю основные положения, характеристики и элементы концепции восстановления и развития трамвайного хозяйства Санкт-Петербурга. Результаты НИР могут быть использованы ведомственными организациями, отвечающими за развитие транспорта (Комитет по транспорту, Комитет по развитию транспортной инфраструктуры), а также предприятие-перевозчик (СПб ГУП «Горэлектротранс»).

Материал и методы

Для начала определим целевые показатели плана – по ним необходимо будет проработать основные программные документы. Их около семи:

1) состав направлений восстановления и развития трамвайного движения в центральных районах (зоне исторического центра) Санкт-Петербурга;

2) требуемые мощности завода для поддержания необходимых объёмов производства трамваев;

3) требуемое количество трамвайных депо, ПТО, ремонтных мастерских;

4) объём ввода инфраструктуры (путевого хозяйства и контактной кабельной сети);

5) объём ввода энергетической инфраструктуры (электростанции, фидеры);

6) количество маршрутов, запущенных по наиболее существенным направлениям восстановления и развития трамвайного движения в Санкт-Петербурге;

7) виды ПС, используемых на маршрутах ПВРТХ и их характеристики.

Введём для каждого критерия математические обозначения:

$O_{пр}$ – объём производства

$$O_{пр} = K \times Ц, \quad (1)$$

где K – число произведенных единиц товара;

$Ц$ – цена изделия.

$M_{п}$ – производственная мощность предприятия

$$M_{п} = P_{об} \times \Phi_{об}, \quad (2)$$

или

$$M_{п} = \Phi_{об} / T, \quad (3)$$

где $P_{об}$ – производительность оборудования в единицу времени, выраженная в штуках изделий (деталей);

$\Phi_{об}$ – действительный (рабочий) фонд времени работы оборудования, единиц времени;

T – трудоемкость комплекта изделий (деталей), изготовляемых на данном оборудовании, нормо-час, человеко-дни.

$N_{д}$ – количество трамвайных депо

$Q_{пи}$ – объём ввода путевой инфраструктуры

$Q_{эи}$ – объём ввода энергетической инфраструктуры

$N_{м}$ – количество трамвайных маршрутов

План восстановления и развития трамвайного хозяйства ПВРТХ (далее – План) – программный документ до момента подписания Правительством Санкт-Петербурга постановления о реализации, после – нормативно-правовой документ, определяющий проекты, виды, сроки проведения работ, нацеленных на повышение мощностей трамвайной системы Санкт-Петербурга, обеспечение её единства и независимости, а также показателей эффективности, запланированных в Плане. Основывается План на опыте развития трамвайной системы Санкт-Петербурга в 1950-1992 года, в расчёте целевых показателей используются методы и модели теории принятия решений в условиях неопределённого состояния среды исследования.

Программа предусматривает:

- полное восстановление ликвидированного путевого хозяйства (пути, кончанные станции, оборотные тупики) + строительство новых в случае необходимости;

- полное восстановление всех ликвидированных трамвайных парков в непосредственной близости от их первоначального местонахождения;

- полное восстановление всех энергетических мощностей: электростанции, контактная сеть и зарядная инфраструктура.

I этап ПВРТХ предусматривает прокладку новых трамвайных линий в районе исторического центра по современной технологии. Какой она будет – BКV/ERS (Embedded Rail System) (бетонные плиты) или устройство рельсошпальной решетки с щебеночным балластом и покрытие из железобетонных плит – пока ещё не решено. Последняя себя широко зарекомендовала в Санкт-Петербурге, а первая – во всём мире [2], [3]. Однако здесь будут отличия, и заключаются они в обособлении линий. На некоторых, более просторных и менее загруженных улицах будут обустроены капитально-обособленные пути (рис. 2 б) с засеянным газоном – литое монолитное основание с использованием полнопрофильных рельсов

Тип обособления непосредственно влияет на безопасность и доступность остановочного пункта. В случае генерального обособления, при наличии как минимум двух полос для движения шинных видов транспорта применяется посадочная платформа, практически интегрированная с рельсовым полотном (рис. 3 а). Она выполняет две функции: обеспечивает наибольшую безопасность пассажирам (переход проезжей части для посадки в трамвай не требуется, переход требуется лишь для достижения платформы, это будет наиболее безопасно реализовано при наличии пешеходного перехода в непосредственной близости от остановочного пункта), а также успокаивает трафик сужением проезжей части. В случае наличия одной полосы для движения шинного транспорта может быть применима венская платформа – повышение дорожного полотна на уровень трамвая на всём протяжении остановочного пункта (рис. 3 б). У неё также две функции: безопасность для пассажиров (менее безопасная, чем посадочная платформа), а также успокоение трафика (машинам придётся «вскарабкиваться» на повышенный участок проезжей части, что повлечёт за собой снижение скорости и повышение внимательности).



Рисунок 3 – Методы обустройства остановочных пунктов: а – организация интегрированной в полотно посадочной платформы, (слева), б – организация венской платформы (справа)

Определён состав направлений восстановления и развития ТХ – их 20:

Таблица 1 – Состав направлений плана восстановления и развития ТХ

Действие (направление)	Восстановление линий	Длина линий, км		Пуск маршрутов (их ТП)
1-е (Василеостровское)	22-я и 23-я линии В. О.	0,6	3,7	33 (3)
	Наб. Лейтенанта Шмидта	1,4		
	8-я и 9-я линии В. О.	1,7		
2-е (Сенное)	Благовещенский мост	0,39	2,443	5` (2), 11` (3)
	Пл. Труда	1,053		
	Ул. Глинки	1		
3-е (Коломенское)	Пр. Римского-Корсакова	0,525	1,625	15 (3)
	Английский пр.	0,355		
	Ул. Декабристов	0,745		
4-е (Васильевское)	1-я и Кадетская линии В. О.	0,945	0,945	1` (9), 63` (2)
5-е (Гаванское)	Малый пр. В. О.	1,145	1,145	5`, 37 (3)
6-е (Измаловское)	Лермонтовский пр.	0,825	0,825	1`
7-е (Выборгское)	Бол. Сампсониевский пр.	2,24	2,44	2 (3), 18` (5), 26 (10), 53 (3)
	Финский пер.	0,2		
8-е (Владимирское)	Лиговский пр.	1,46	4,355	19 (5), 25 (1), 16 (1), 72 (9)
	Ул. Жуковского	0,895		
	Ул. Восстания	0,9		
	Кирочная ул.	1,1		
9-е (Смолянинское)	Потёмкинская ул.	0,57	2,235	10 (4), 13 (8), 49 (12), 63`
	Шпалерная ул.	1,3		

	Ул. Смольного	0,365	3,885	
	2-я Советская ул.	0,78		
	Новгородская ул.+ Исполкомская ул.	1,8		
	Пр. Бакунина	0,485		
	Херсонская ул.	0,4		
	Ул. Марата	0,42		
10-е (Петроградское)	Большой пр. П. С.	1,9	5,385	1', 6 (2'), 18' 40 (2'), 21 (3), 31 (9)
	Пл. Л. Толстого	0,485		
	Пионерская ул.	1,5		
	Чкаловский пр.	1,5		
11-е (Невское)	Невский пр., пл. Искусств	4,3	5,6	4 (2), 11', 13', 20 (10), 32 (4), 39 (7), 53'
	Гончарная/Полтавская	1,3		
12-е (Центрально-Петроградское)	Мытнинская наб.	0,25	2,75	31'
	Биржевой мост, Биржевая пл.	0,67		
	Дворцовый мост, Дворцовый пр-д	0,63		
	Университетская наб.	1,2		
13-е (Адмиралтейское)	Адмиралтейский пр.	0,59	1,39	14 (10),
	Конногвардейский б-р	0,8		
14-е (Литейное)	Греческий пр.	1,7	2,9	5', 63'
	Ул. Некрасова, 9-я Советская ул., ул. Моисеенко	1,2		
15-е (Красногвардейское)	Большеохтинский мост, Тульская ул.	0,95	1,616	10', 12 (4), 17 (7)
	Ул. Бонч-Бруевича	0,242		
	Лафонская ул.	0,424		
16-е (Пискаревское)	Пискаревский пр.	2,6	2,6	7 (7), 14', 51 (10)
17-е (Нарвское)	Пр. Стачек	1,3	1,3	1', 31', 19', 36 (9)
18-е (Калининское)	Кондратьевский пр. / ул. Жукова	1,1	1,1	23 (7)
19-е (Декабристов)	Уральская ул.	1	3,36	6', 11', 42 (2)
	Железноводская ул.	0,96		
	Пр. КИМа, наб. р. Смоленки, 16-я и 17-я линии В. О., Камская ул.	1,4		
20-е (Красносельское)	Санкт-Петербургское ш.	2,7	2,7	36'
ИТОГ:			55,350	33 (по новым трассам)

Реализация I этапа программы предусматривает частичный ввод 42 маршрутов: в эту категорию входят (подчёркивание № маршрута обозначает ввод к/ст., которую будет использовать данный маршрут):

- существующие маршруты, изменённые по причине ликвидации трамвайного хозяйства в разные периоды времени (менее 50 % протяжённости маршрута), будут восстановлены по своим первоначальным трассам (№№ 3, 7, 10, 16, 18, 19, 20, 23, 24, 25, 29, 36, 38, 39, 45, 49, 51, 53, 61, 63) – 19;

- маршруты, снятые с линий по причине ликвидации трамвайного хозяйства в разные периоды времени (более 50 % протяжённости маршрута), будут фактически или частично

восстановлены по своим первоначальным трассам (№№ 1, 2, 4, 5, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 21, 26, 28, 30, 31, 32, 33, 34, 37, 42, 53) – 21;

- новые маршруты, спроектированные для улучшения доступности районов г. Санкт-Петербурга (№ 72, 74) – 2.

Фактически (100 % протяжённости маршрута совпадает с первоначальной трассой) будет реализовано 18 маршрутов: 4, 5, 6, 10, 12, 13, 18, 20, 23, 24, 25, 32, 36, 38, 39, 45, 49, 61, 63.

Помимо ввода ряда маршрутов, на I этапе будут введены 7 конечных станций / оборотных тупиков:

- Малый пр. В. О. (к/ст.) – маршруты 5, 37;
- Пл. Искусств. (оборотный тупик) – маршруты 12, 21, 32;
- Балтийский вокзал (оборотный тупик) – маршрут 13;
- Пл. Тургенева (оборотный тупик) – маршрут 36;
- Ул. Смольного (к/ст.) – маршрут 72 (оборот);
- Ул. Марата (оборотный тупик) – маршрут 39;
- Стремянная ул. (оборотный тупик) – маршрут 20;
- Пл. Л. Толстого (оборотный тупик) – маршрут 1;
- Пл. Ленина, Финляндский вкз. (оборотный тупик) – маршруты 25, 38, 74;
- Стадион Петровский (оборотный тупик) – работа в случаях разводки / ремонта мостов маршруты 6, 18, 63 (Тучков мост), 21, 31, 37 (Биржевой мост).

Также на I этапе будут восстановлены основные структурные элементы трамвайной системы – 2 трамвайных парка + 1 завод:

- ТП-2 (2-я площадка): маршруты 4, 5, 11, 15, 42, 63;
- ТП-4: маршруты 10, 12, 32, 44, 46;
- ПТМЗ (вагоноремонтный завод + общая рембаза трамвайного хозяйства СПб ГУП «ГЭТ» + поставка путевого хозяйства (рельсошпальная решётка, рельсы, контактный провод, энергетическая инфраструктура)).

Теория / Расчёт

На этапе расчёта маршрутов мы определяли наиболее эффективные трассировки маршрутов [1, 9] Рассмотрим начальное направление реализации Плана – линии по 22-й и 23-й линии В. О. от Косой линии до наб. Л. Шмидта, по наб. Л. Шмидта до 8-й и 9-й линий В. О., по 8-й и 9-й линиям В. О. до Уральского моста. Обуславливается это тем, что построенная в недалёком будущем станция метро «Горный институт» должна наполняться пассажиропотоком с набережной В. О., к тому же, линия связывает эту станцию метро с «Василеостровской» - тем самым, вдвойне увеличивая доступность обеих станций и позволяющих разгрузить как Средний пр. В. О., так и активно развивающиеся намывные территории в западной части острова. Методом теории принятия решений рассчитаем эффективность линии по сравнению с наиболее загруженными – Средним пр. В. О. и Большим пр. В. О. по трём оптимальным критериям – скорости, времени и расстоянию [13, 16]. Критерий загруженности брать не будем, так как многие данные станут известны только после обособления линии на Среднем пр. В. О. и запуске линии по наб. Л. Шмидта. Предположим, что Средний пр. В. О. остался необособленным (пространство для движения личных автотранспортных средств остаётся «недостаточным для поддержания стабильного трафика», как предпочитает выражаться ГИБДД в случае увеличения приоритета общественного над личным [5].

Таблица 2 – Таблица вариантов и критериев для теории принятия решений

Вариант / Критерий	Скорость (K0)	Время (K1)	Расстояние (K2)
Средний пр. В. О., трамвай н/о (D0)	15	0,107	1,6
Большой пр. В. О., троллейбус, не в/п (D1)	20	0,09	1,8
Наб. Л. Шмидта, трамвай, о (D2)	25	0,1072	2,68



Рисунок 4 – Схема маршрутов (слева), этапы нормализации, расчёта критериев и количества областей подлежащих решению по теории принятия решений (справа)

Нормализуем, затем рассчитываем критерии и количество областей, подлежащих решению (рис. 4). Получаем, что хоть мы и преодолеваем намного большее расстояние по запланированной нами линии, однако, она работает эффективнее, чем линия по Среднему пр. В. О.. Троллейбус, естественно, выигрывает в гонке, однако непосредственно не охватывает ст. м. «Василеостровская», и в целом функция транспорта на Большом пр. В. О. – доставить пассажиров в центральные районы города [11, 12] Поэтому его необходимо рассматривать в контексте движения в/из центра города. Итак, исследование показало, что линия на пр. Л. Шмидта существенно разгрузит линию на Среднем пр. В. О., и даже превзойдёт её по показателям эффективности.

Далее, по Плану, идёт линия от пл. Трезини (с подключением от наб. Л. Шмидта) по Благовещенскому мосту, пл. Труда, ул. Глинки – Театральной и Никольской пл. – до Садовой ул. Осуществляется важнейшая транспортная задача Адмиралтейского района Санкт-Петербурга – вывезти жителей района к станциям метрополитена. Ст. м. «Театральная», строящаяся для улучшения доступности округа Коломна, ожидают длительные проверки, и запустят её лишь после открытия ст. м. «Горный институт», поэтому учитывать её временно не станем [6]. Основные направления – ст. м. «Василеостровская» и ст. м. «Сенная/Садовая/Спасская» [14]. Сравним несколько маршрутов. Первый, «Гостиный двор – Василеостровская» – трамвайный маршрут, организованный с помощью предложенной нами трамвайной линии, маршрут автобуса 100 «Балтийский вз. – Ст. м. «Василеостровская» (обрезан до ст. м. «Василеостровская», автобуса 262 «Ст. м. Технологический институт» - Большой пр. В. О.), а также автобуса 70 – «Балтийский вз. – Английский пр.» [15]. Это отрезки основных существующих маршрутов, связывающих Адмиралтейский район с Василеостровским. Точки притяжения – станции метрополитена – учитывают все пересадочные станции [7].

Таблица 3 – Таблица вариантов и критериев для теории принятия решений

Вариант / Критерий	Скорость (K0)	Время (K1)	Расстояние (K2)	Точки притяжения станции метро)
Трамвай о/б (D0)	25	0,216	5,4	6
Автобус 100 не в/п (D1)	20	0,24	4,8	2
Автобус 70 частично в/п (D2)	23	0,273	6,72	5
Автобус 262 не в/п (D3)	20	0,2635	5,27	5

Проведём аналогичные с предыдущим расчётом действия, и получим следующие данные (рис. 5) Вариант предлагаемой трамвайной линии побеждает, набрав показатель 0,289. Что интересно, автобусы 262 и 70 имеют примерно одинаковую эффективность.



Рисунок 5 – Схема маршрутов (слева), этапы нормализации, расчёта критериев и количества областей подлежащих решению по теории принятия решений (справа)

Результаты и обсуждение

В данной статье были определены и подробно рассмотрены целевые показатели Плана восстановления и развития трамвайного хозяйства Санкт-Петербурга: состав направлений восстановления трамвайного движения (20 направлений), требуемые мощности и объёмы производства завода (восстановление ПТМЗ, запуск производства ПК «Транспортные системы» начальным объёмом до 500 единиц, затем и до 1200 единиц в год), требуемое количество депо (2 трамвайных парка), объёмы ввода инфраструктуры, путевой (55,350 км.) и энергетической (5 подстанций), количество маршрутов (в общей сложности 33, из них новых – 19) [4]. Виды ПС, используемых для их реализации, а также экономические вопросы Плана будут рассмотрены в дальнейших исследованиях, так как они не являются основными показателями, и с изменением трасс маршрутов, которые также сейчас находятся в проработке, могут существенно изменяться [18]. Также были рассчитаны два направления восстановления, будущие трамвайные маршруты были сравнены с существующими шинными аналогами по наиболее точной оценке эффективности маршрута методом теории принятия решений, используя основные критерии перевозок – скорость, время, расстояние и основные объекты притяжения (в данном случае были взяты станции метро). При дальнейшей проработке проекта будет добавлен ещё один важный критерий – загруженность – который будет оцениваться по 5-балльной шкале.

Выводы

Результаты научного исследования могут быть использованы во многих городах России и мира, где в различные годы, под предлогом неэффективности и вследствие неадекватности органов власти были закрыты предприятия и ликвидирована инфраструктура электротранспорта [8]. Вызванный этими событиями взрывной рост автомобилизации негативно сказывается на здоровье, благополучие и безопасность жителей городов, и, лишь стабильная и главенствующая работа электротранспорта способна изменить многие негативные тенденции, порождённые автомобилизацией – распространение коммерческих перевозчиков с низкими уровнями социальной ответственности и культуры вождения, а также потеря привлекательности общественного транспорта некоторых категорий населения в связи с приобретением личных автомобилей [17]. Необходимо открыть архивные документы, схемы движения электротранспорта, и, одновременно с этим, исследовать последние принятые документы территориального планирования и, объединив «прошлое с будущим», так сказать, разработать оптимальную концепцию развития электротранспорта, основываясь на применённых в данном исследовании подходах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горев А.Э. Повышение транспортной доступности территории Санкт-Петербурга // Вестник гражданских инженеров. - 2006. - №3(8). - С. 89-93.
2. Варламов И., Кац М. Возрождаем трамвай в Петербурге [Электронный ресурс] / Штаб возрождения Петербурга. – Режим доступа: <https://ict.moscow/en/research/urban-transportation-systems-of-25-global-cities/>
3. Mohr D., Pokotilo V., Woetzel J. Urban transportation systems of 25 global cities [Электронный ресурс] / ICT Moscow. - 2021. – Режим доступа: <https://ict.moscow/en/research/urban-transportation-systems-of-25-global-cities/>

4. Горев А.Е., Попова О.В. Эффективность использования инновационного подвижного состава городского пассажирского транспорта // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы 5-й Международной научно-практической конференции. - 2020. - С. 287-294.
5. Чеботарёв А.В., Горев А.Э. Разработка методики организации работы систем городского транспорта общего пользования, меняющих тип обслуживания в соответствии с изменением спроса на перевозки пассажиров // Современные проблемы науки и образования. - 2013. - № 3. - С. 75.
6. Аземша С.А., Скирковский С.В., Горев А.Э. Установление закономерностей в изменении объёма пассажирских перевозок от числа жителей населённого пункта // Вестник гражданских инженеров. - 2019. - №5 (76). - С. 206-216.
7. Горев А.Э. Развитие городских транспортных систем крупных городов // Транспорт Российской Федерации. - 2016. - №6(67). - С. 50-53.
8. Горев А.Э. К вопросу об экономической эффективности городского пассажирского транспорта // Транспорт Российской Федерации. - 2012. - №3-4(40-41). - С. 34-36.
9. Триси У.Р. Выбор ТПМК для продления южной линии скоростного трамвая в Эдмонтоне (Канада) // Метро и тоннели. - 2005. - №1. - С. 44-46.
10. Kominowski J., Firlirk B. Identification of light rail track geometry for tram running // Civil-comp proceedings. - 2016. - Т. 110. - С. 7.
11. Chaib M., Oubati O. S., Bensaad M. I., Lakas A., Lorenz P., Jamaliepour A. Brt: bus-based routing technique in urban vehicular networks // IEEE transactions on intelligent transportation systems. - 2019. - P. 1-13. - DOI: 10.1109/TITS.2019.2938871. hal-02334365.
12. Wenfeng L. Event stream processing in BRT environment // International journal of education and management engineering. - 2013. - Т. 3. - №1. - С. 7-13.
13. Беляев А.И. Решение многокритериальной задачи выбора наилучших показателей восстановления деталей дорожно-строительной машине // Мир транспорта и технологических машин. - 2018. - Т. 2 (61). - С. 26-32.
14. Менухова Т.А., Беляев А.И. Автоматизация распределения автомобилей при планировании междугородных перевозок грузов // Транспортные и транспортно-технологические системы. - 2014. - С. 167-171.
15. Тайсаев К.К., Терентьев А.В., Жихарева С.А. Метод определения эффективности автобусов на основе интегрированной оценки показателей технической и коммерческой эксплуатации // Вестник гражданских инженеров. - 2022. - №1(90). - С. 143-147.
16. Пат. RU 2021667592. Программа для определения оптимальных маршрутов движения транспортных средств в динамически изменяющихся условиях внешней среды.
17. Бешенцев И.Д. Качество городской жизни и общественного транспорта в контексте непрерывной урбанизации / под ред. С. И. Бугашева, А. С. Минина // Гуманитарные науки в современном вузе: вчера, сегодня, завтра: Матер. IV-й междунар. науч. конф. - В 3 т. - Т. 2. - СПб.: ФГБОУВО «СПбГУПТД». - 2021. - С. 213-219.
18. Бешенцев И.Д. Городская наземная транспортная логистика: оптимальное транспортное средство для перевозки пассажиров // Актуальные проблемы современного строительства: материалы LXXIV Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. - В 2 ч. - Ч. 2. - Санкт-Петербург: СПбГАСУ. - 2021. - С. 180-186.
19. Бешенцев И.Д., Теремшонок А.А., Темиргалиев Е.Р. Создание маршрута регулярных перевозок, соединяющего три муниципальных образования Красногвардейского района города Санкт-Петербурга // Логистика: форсайт-исследования, профессия, практика: Материалы II Национальной научно-образовательной конференции. - Санкт-Петербург: СПбГЭУ. - 2021 - С. 318-326.
20. Бешенцев И.Д. Трамвайная система Санкт-Петербурга: история развития и выделение основных проблем / под ред. С. И. Бугашева, А. С. Минина // Гуманитарные науки в современном мире: вчера, сегодня, завтра: Матер. V-й междунар. науч. конф. - В 3 т. - Т. 2. - СПб.: ФГБОУВО «СПбГУПТД». - 2022. - С. 248-257.

Бешенцев Иван Дмитриевич

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

Беляев Александр Иванович

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес: 190005, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, 4
К.т.н., доцент кафедры «Наземные транспортно-технологические машины»
E-mail: tm@spbgasu.ru

I.D. BESHENTSEV, A.I. BELYAEV

FORMATION OF THE FIRST STAGE OF THE PLAN FOR THE RESTORATION OF THE TRAM SYSTEM OF ST. PETERSBURG: IDENTIFICATION OF KEY GOALS AND OBJECTIVES

Abstract. The main provisions, characteristics and elements of the first stage of the author's Plan for the restoration and development of the tram economy of St. Petersburg are considered. The importance of the procedure for restoring the development of electric transport lines, as well as en-

uring the full engineering and technological priority of the tram over other modes of transport, is indicated. A methodology for designing the transport system of a metropolis using the theory of decision-making in an uncertain state of the research environment is proposed. The use of the expected results is planned to be expanded to five stages in the direction of the development of St. Petersburg, in the future - in the direction of the restoration, development and integration of tram facilities in other cities of Russia and the world.

Keywords: transport system, electric transport, light-rail tram (LRT), decision theory

BIBLIOGRAPHY

1. Gorev A.E. Povyshenie transportnoy dostupnosti territorii Sankt-Peterburga // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. - 2006. - №3(8). - S. 89-93.
2. Varlamov I., Kats M. Vozrozhdaem tramvay v Peterburge [Elektronnyy resurs] / Shtab vozrozhdeniya Peterburga. - Rezhim dostupa: <https://ict.moscow/en/research/urban-transportation-systems-of-25-global-cities/>
3. Mohr D., Pokotilo V., Woetzel J. Urban transportation systems of 25 global cities [Elektronnyy resurs] / ICT Moscow. - 2021. - Rezhim dostupa: <https://ict.moscow/en/research/urban-transportation-systems-of-25-global-cities/>
4. Gorev A.E., Popova O.V. Effektivnost' ispol'zovaniya innovatsionnogo podvizhnogo sostava gorodskogo passazhirskogo transporta // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: Materialy 5-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - 2020. - S. 287-294.
5. Chebotariov A.V., Gorev A.E. Razrabotka metodiki organizatsii raboty sistem gorodskogo transporta obshchego pol'zovaniya, menyayushchikh tip obsluzhivaniya v sootvetstvi s izmeneniem sprosa na perevozki passazhirov // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. - 2013. - № 3. - S. 75.
6. Azemsha S.A., Skirkovskiy S.V., Gorev A.E. Ustanovlenie zakonomernostey v izmenenii ob'ioma passazhirskikh perevozk ot chisla zhitel'ey naselionnogo punkta // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. - 2019. - №5 (76). - S. 206-216.
7. Gorev A.E. Razvitie gorodskikh transportnykh sistem krupnykh gorodov // Transport Rossiyskoy Federatsii. - 2016. - №6(67). - S. 50-53.
8. Gorev A.E. K voprosu ob ekonomicheskoy effektivnosti gorodskogo passazhirskogo transporta // Transport Rossiyskoy Federatsii. - 2012. - №3-4(40-41). - S. 34-36.
9. Trisi U.R. Vybory TPKM dlya prodleniya yuzhnoy linii skorostnogo tramvaya v Edmontone (Kanada) // Metro i tonneli. - 2005. - №1. - S. 44-46.
10. Kominowski J., Firlik B. Identification of light rail track geometry for tram running // Civilcomp proceedings. - 2016. - T. 110. - S. 7.
11. Chaib M., Oubbati O. S., Bensaad M. I., Lakas A., Lorenz P., Jamalipour A. Brt: bus-based routing technique in urban vehicular networks // IEEE transactions on intelligent transportation systems. - 2019. - R. 1-13. - DOI: 10.1109/TITS.2019.2938871. hal-02334365.
12. Wenfeng L. Event stream processing in BRT environment // International journal of education and management engineering. - 2013. - T. 3. - №1. - S. 7-13.
13. Belyaev A.I. Reshenie mnogokriterial'noy zadachi vybora nailuchshikh pokazateley vosstanovleniya detaley dorozhno-stroitel'noy mashine // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2018. - T. 2 (61). - S. 26-32.
14. Menukhova T.A., Belyaev A.I. Avtomatizatsiya raspredeleniya avtomobiley pri planirovani mezhdu-gorodnykh perevozk gruzov // Transportnye i transportno-tekhnologicheskije sistemy. - 2014. - S. 167-171.
15. Taysaev K.K., Terent'ev A.V., ZHikhareva S.A. Metod opredeleniya effektivnosti avtobusov na osnove integrirovannoy otsenki pokazateley tekhnicheskoy i kommercheskoy ekspluatatsii // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. - 2022. - №1(90). - S. 143-147.
16. Pat. RU 2021667592. Programma dlya opredeleniya optimal'nykh marshrutov dvizheniya transportnykh sredstv v dinamicheski izmenyayushchikhsya usloviyakh vneshney sredy.
17. Beshentsev I.D. Kachestvo gorodskoy zhizni i obshchestvennogo transporta v kontekste nepreryvnoy urbanizatsii / pod red. S. I. Bugasheva, A. S. Minina // Gumanitarnyye nauki v sovremennom vuze: vchera, segodnya, zavtra: Mater. IV-y mezhduar. nauch. konf. - V 3 t. - T. 2. - SPb.: FGBOUVO «SPbGUPTD». - 2021. - S. 213-219.
18. Beshentsev I.D. Gorodskaya nazemnaya transportnaya logistika: optimal'noe transportnoe sredstvo dlya perevozk passazhirov // Aktual'nye problemy sovremennogo stroitel'stva: materialy LXXIV Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh. - V 2 ch. - CH. 2. - Sankt-Peterburg: SPbGASU. - 2021. - S. 180-186.
19. Beshentsev I.D., Teremshonok A.A., Temirgaliev E.R. Sozdanie marshruta regul'yarnykh perevozk, soedinyayushchego tri munitsipal'nykh obrazovaniya Krasnogvardeyskogo rayona goroda Sankt-Peterburga // Logistika: forsait-issledovaniya, professiya, praktika: Materialy II Natsional'noy nauchno-obrazovatel'noy konferentsii. - Sankt-Peterburg: SPbGEU. - 2021. - S. 318-326.
20. Beshentsev I.D. Tramvaynaya sistema Sankt-Peterburga: istoriya razvitiya i vydelenie osnovnykh problem / pod red. S. I. Bugasheva, A. S. Minina // Gumanitarnyye nauki v sovremennom mire: vchera, segodnya, zavtra: Mater. V-y mezhduar. nauch. konf. - V 3 t. - T. 2. - SPb.: FGBOUVO «SPbGUPTD». - 2022. - S. 248-257.

Beshentsev Ivan Dmitrievich

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

Belyaev Alexander Ivanovich

St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
Address: 190005, Russia, St. Petersburg
Candidate of technical sciences
E-mail: tm@spbgasu.ru

Научная статья
УДК 621.892.2
doi:10.33979/2073-7432-2023-3-4(82)-117-122

С.В. КОРНЕЕВ, С.В. ПАШУКЕВИЧ, В.Д. БАКУЛИНА

ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЙ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА МИНЕРАЛЬНОГО МОТОРНОГО МАСЛА

Аннотация. В работе представлены материалы по модельному высокотемпературному окислению современного моторного масла, загрязненного дизельным топливом и твердыми углеродными частицами, которые были добавлены в различных концентрациях в смазочный материал. Для оценки работоспособности моторных масел при эксплуатации в дизельных двигателях тяжело нагруженной автомобильной техники следует определить показатели качества, такие как кинематическая вязкость при 40°C и 100°C, а также температуру вспышки. Определение вязкости проводилось с помощью вискозиметра Stabinger SVM 3000. Для определения температуры вспышки использовался автоматический регистратор температуры вспышки нефтепродуктов «Вспышка-А».

Ключевые слова: моторное масло, двигатель внутреннего сгорания, твердые частицы, температура вспышки, кинематическая вязкость, дизельное топливо

Введение

Производители автомобилей, двигателей и смазочных материалов сталкиваются с растущим давлением, требующим увеличения интервалов технического обслуживания и, следовательно, срока службы масла, чтобы снизить затраты заказчика на срок службы транспортных средств и общее воздействие транспортных средств на окружающую среду. Наиболее остро эта проблема проявляется в дизельных двигателях, поскольку основной загрязнитель смазочного материала - сажа - образуется непосредственно при сгорании дизельного топлива. Частицы сажи либо выбрасываются в атмосферу, либо адсорбируются смазочным материалом в двигателе. Частицы сажи представляют собой мелкие черные частицы диаметром 40 нм, но они агломерируются в смазочном материале приблизительно до диаметра 200 нм [1-3].

Частицы сажи являются основной причиной износа двигателей и отрицательно влияют на срок службы смазочного материала. Понимание того, как загрязненные сажей смазочные материалы вызывают износ и влияют на рабочие функции смазочного материала, также необходимо для минимизации такого воздействия на компоненты двигателя и увеличения срока службы двигателя и смазочного материала, а также для повышения производительности и экономичности. Чтобы увеличить интервал технического обслуживания дизельного двигателя, необходимо отслеживать уровень загрязнения моторного масла, анализируя динамику изменения вязкостно-температурных свойств, а также оценивая изменение значений температуры вспышки [4-6]. Целью работы является оценка воздействия на моторное масло загрязнителей в виде дизельного топлива и твердых углеродных частиц.

Материал и методы

В качестве объектов исследования было выбрано минеральное масло Lухе SAE 15W40.

Для проведения испытания были подготовлены следующие образцы каждого из приведенных выше моторных масел:

- 1) свежее масло;
- 2) свежее масло + 1% дизельное топливо+0,5% сажи;
- 3) свежее масло + 1% дизельное топливо+1% сажи;
- 4) свежее масло + 1% дизельное топливо+2% сажи;
- 5) свежее масло + 1% дизельное топливо+3% сажи;
- 6) свежее масло + 1% дизельное топливо+4% сажи.

В качестве твердых углеродных частиц был взят пылящий технический углерод марки №550, его минимальный диаметр частиц, твердость и прочность сопоставимы с данными характеристиками дизельной сажи. Подготовленные образцы помещались в приборы, разработанные Всесоюзным теплотехническим институтом (ВТИ), также туда помещались медная пластина и железная проволока, используемые в качестве катализаторов, далее при-

боры ВТИ погружались в термостатирующую баню аппарата АПСМ-1М и подвергались окислению при следующих условиях: температура – 200⁰ С, погрешность поддержания стабильности расхода кислорода не более ±10 %, абсолютная погрешность поддержания температуры термостатирующей жидкости не более ±0,5⁰ С, время воздействия на масло – 3 часа.

После проведения окисления образцам моторного масла давали время остыть, после этого были проведены измерения следующих показателей: температура вспышки в открытом тигле, кинематическая вязкость при 40⁰ и 100⁰ С.

Теория

Частицы углерода (сажа) образуются в результате термического разложения (крекинга) крупных молекул углеводородов. Частицы сажи могут окисляться, когда они попадают на обедненную сторону реакционной зоны, что приводит к дальнейшему окислению во время процесса расширения, после окончания фазы окисления при смешивании [7, 8].

Образование дыма увеличивается из-за высоких температур в зоне сгорания топлива во время диффузионного горения, а также из-за снижения общего соотношения воздух/топливо.

Выбросы дыма можно уменьшить, сократив время диффузии, поскольку это дает меньше времени для образования сажи и больше времени для окисления частиц углерода. Фаза диффузии может быть более быстрой, чем обычно из-за более быстрого впрыскивания и более мелкого распыления топлива. Увеличение скорости обработки при впрыскивании также снижает выбросы дыма. Ранний впрыск приводит к более высоким температурам во время процесса расширения и большему времени, за которое может произойти образование большого количества частиц. Образование дыма в наибольшей степени зависит от нагрузки на двигатель [9-12].

По мере увеличения нагрузки сжигается больше топлива, и это увеличивает образование дыма по трем причинам:

- 1) продолжительность диффузионного горения увеличивается;
- 2) температура горения повышается;
- 3) меньшее окисление сажи происходит во время такта расширения, поскольку после окончания диффузионного горения остается меньше времени, а также меньше кислорода [13].

Сажа не только способствует образованию некоторых типов отложений, таких как лак и шлам, но и приводит к повышению вязкости моторного масла. Эти факторы могут привести к плохой циркуляции смазочного материала и нарушению смазочной пленки, что приведет к износу и выходу из строя узлов дизельного двигателя. Сажа имеет дисперсную природу и образуется в результате неполного сгорания топлива, твердые частицы могут попасть в картер, проходя мимо поршневых колец и камеры сгорания. Образующаяся в сажа является хронической проблемой дизельных двигателей, поскольку дизельное топливо содержит высококипящие компоненты, которые не сжигаются легко. Кроме того, сгорание в дизельном двигателе в значительной степени неоднородно, с плохим смешиванием воздуха и топлива, следовательно, плохим сгоранием. Сажа состоит из фрагментов углеводородов, ее частицы заряжены и, следовательно, имеют тенденцию образовывать агрегаты. Когда на поверхностях, таких как поверхности камеры сгорания, образуются скопления сажи, эти отложения мягкие и легко разваливающиеся по текстуре. Увеличение вязкости в моторном масле, связанное с попаданием твердых частиц элементарного углерода, обычно требует присутствия в масле полярных веществ, которые обладают способностью ассоциироваться с сажей. Это могут быть присадки или продукты окисления и разложения полярных смазочных материалов. Углеродистые отложения содержат меньше углерода, чем сажа, и в большинстве случаев содержат маслянистый материал и золу. Когда сажа связывается со смолистыми отложениями, образуются либо частицы сажи, покрытые смолой, либо частицы смолы, покрытые сажей. Первый тип частиц образуется при избытке смолы, а второй тип образуется в результате, когда частиц сажи находится в избытке. Количество сажи в смоле определяет цвет отложений: чем больше сажи, тем темнее отложения. Осадок образуется при смешивании смолы, сажи, масла и воды [14-17].

В дизельных двигателях сажа является важным компонентом отложений, к которым относятся лак, нагар и высокотемпературный шлам. Как правило, нагар имеет высокое содержание металла, что в основном связано с наличием в смазке моющих присадок.

Предшественники отложений состоят приблизительно из 15-50 атомов углерода и содержат множество гидроксид- и карбоксильных функциональных групп. Из-за полифункциональности эти молекулы обладают способностью термически полимеризоваться с образованием высокомолекулярных продуктов. Как упоминалось ранее, сажа связывается с продуктами полярного окисления в масле, вызывая увеличение вязкости.

Абразивный износ возникает в результате присутствия в смазочном материале твердых частиц, таких как крупные частицы сажи [18].

Диспергаторы имеют решающее значение для контроля износа, связанного с сажей.

Если в камере сгорания окажется слишком много загрязнённого смазочного материала, это приведет к серьезным проблемам с выбросами. Современные конструкции поршней, такие как шарнирно сочлененные поршни и поршни с малым объемом щелей, обеспечивают достаточное количество смазки для минимизации потерь, но без негативного влияния на выбросы. Другими параметрами, относящимися к факторам, влияющим на расход масла, являются целостность поршней и цилиндров, а также вязкость, летучесть и герметизирующие характеристики смазочного материала. Поршни с застрявшими кольцами и неровными канавками, а также цилиндры с повышенным износом приведут к плохому уплотнению между картером и камерой сгорания. Как следствие, большее количество продуваемого воздуха попадет в картер и увеличит скорость разрушения смазочного материала. Это еще больше усложнит ситуацию. Прилипание кольца происходит, когда в канавках за поршневыми кольцами образуются липкие отложения. Это серьезная проблема, поскольку она приводит не только к плохому уплотнению, но и к плохой теплопередаче от цилиндра к стенке [19].

Основными эксплуатационными характеристиками диспергатора являются его термическая и окислительная стабильность, его низкотемпературные свойства и, прежде всего, его способность диспергировать сажу, отложения и предшественников отложений. Плохая термостойкость может ухудшить способность диспергатора диспергировать полярные продукты окисления и разложения в объемной смазке. Плохая окислительная стабильность диспергатора может привести к образованию отложений на поверхности.

Низкотемпературные свойства современных смазочных материалов приобретают все большее значение [20].

Результаты

Такого рода прирост кинематической вязкости у минерального моторного масла, загрязненного дизельным топливом и частицами сажи, не влечет за собой чрезмерный износ узлов пар трения, однако при дальнейшем окислении при эксплуатации в автомобильной технике есть риск существенного увеличения значений кинематической вязкости (рис. 1).

Температура вспышки моторного масла в зависимости от степени его загрязнения дизельным топливом и сажей снижается существенно, также может ожидать дальнейшее снижение данного показателя из-за продолжения использования загрязненного масла. В скором времени это приведет к образованию нагара при соприкосновении с горячими деталями двигателя.

Обсуждение

Незначительное увеличение кинематической вязкости у минерального моторного масла происходит по причине образования значительных по размеру конгломератов сажи, что затрудняет протекание жидкости через капилляр вискозиметра.

При введении дизельного топлива и сажи в моторное масло наблюдается снижение температуры вспышки, определяемой в открытом тигле. Это происходит по причине присутствия в масле легких топливных углеводородов, которые имеют относительно низкую температуру кипения. На первом этапе топливо является основной причиной снижения температуры вспышки, на дальнейшее снижение температуры вспышки влияет наличие сажи из-за перераспределения тепловых потоков. Сажа выполняет функцию теплоаккумулятора, т.е. нагревается и интенсифицирует процесс нагрева легких топливных углеводородов, что и приводит к дальнейшему снижению температуры вспышки при одной и той же концентрации дизельного топлива.

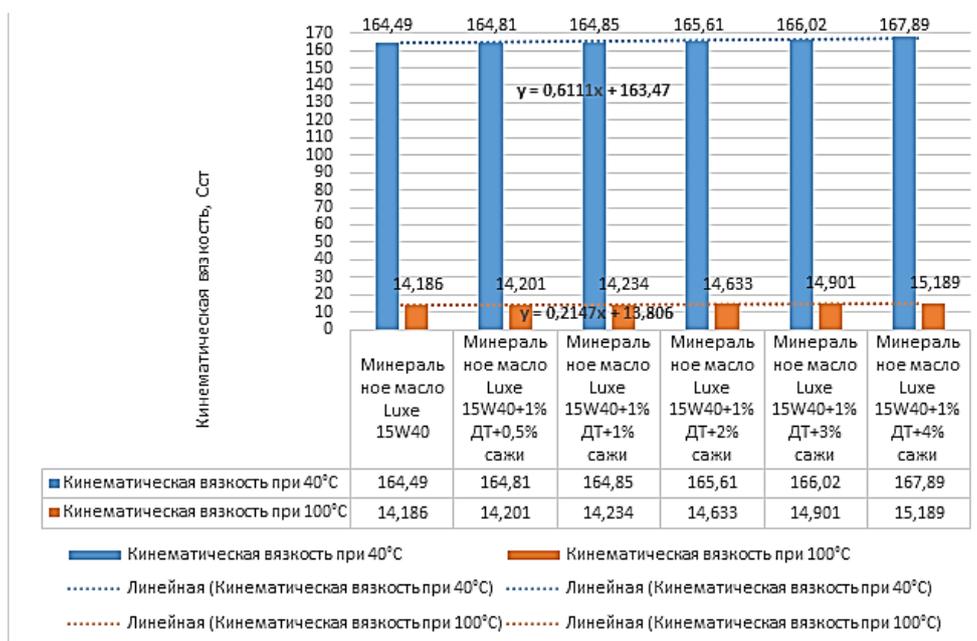


Рисунок 1 - Динамика изменения кинематической вязкости моторного масла в зависимости от концентрации добавленных в него дизельного топлива и углеродных частиц

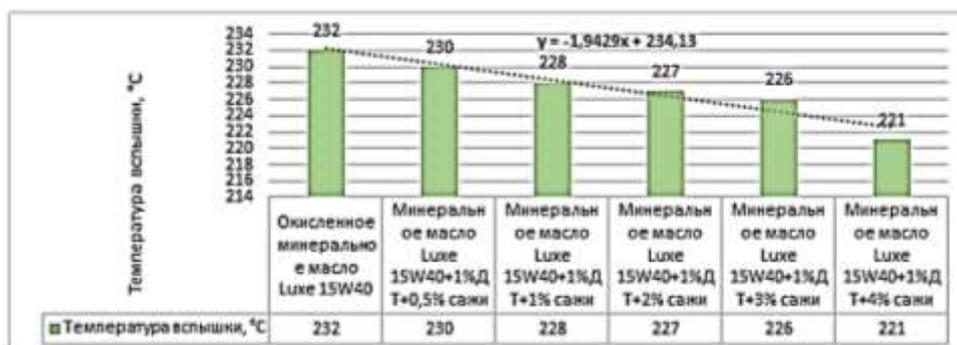


Рисунок 2 - Динамика изменения температуры вспышки моторного масла в зависимости от концентрации добавленных в него дизельного топлива и углеродных частиц

Выводы

1. Попадание в минеральное моторное масло твердых углеродных частиц и дизельного топлива с последующим их окислением в процессе эксплуатации автомобильной техники влечет за собой негативные последствия.
2. Особое влияние рассмотренные загрязнители оказывают на показатель «температура вспышки». Отмечено серьезное снижение показателя при добавлении 4 % сажи и 1 % дизельного топлива в моторное масло при дальнейшем высокотемпературном окислении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Остриков В.В., Оробинский В.И., Афоничев Д.Н., Забродская А.В. Исследования по очистке работающего моторного масла и системы смазки от загрязнений // Химия и технология топлив и масел. - 2021. - №6 (628). - С. 21-24.
2. Корнеев С.В., Пашукевич С.В., Бакулина В.Д., Певнев Н.Г. Загрязнение моторных масел при зимней эксплуатации автомобилей // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. - 2022. - Т. 19. - №5(87). - С. 680-691.
3. Насырова Ю.А., Молочников Д.Е. Загрязнения в моторном масле // В мире научных открытий: Материалы VI Международной студенческой научной конференции. – Ульяновск. - 2022. - С. 3874-3877.
4. Гимбицкая Л.А., Гимбицкий В.А. К вопросу о загрязнениях моторных масел // Наука России: цели и задачи: Сборник научных трудов по материалам ХХІХ международной научной конференции. – Екатеринбург. - 2021. - С. 88-92.
5. Рахманов А.А. Влияние эксплуатационных условий изменения свойств моторных масел и рабочих жидкостей // Вестник науки. - 2023. - Т. 2. - №4(61). - С. 199-203.
6. Кошелев А.В. Очистка системы смазки двигателей тракторов // Наука в центральной России. - 2022. - №2(56). - С. 142-147.

7. Корнеев С.В., Пашукевич С.В., Жаворонкова Я.В., Бакулина В.Д., Ярмович Я.В. Влияние дизельного топлива на окисляемость моторных масел в автомобильных двигателях // Химическая промышленность сегодня. - 2019. - №6. - С. 38-41.
8. Зазуля А.Н., Белов С.А. Изменение свойств моторного масла во время эксплуатации в дизельном двигателе // Современные методы технической диагностики и неразрушающего контроля деталей и узлов. - 2020. - №1. - С. 5-8.
9. Абашкин Р.И., Алехин А.В. Изменение моторного масла в процессе эксплуатации в двигателях внутреннего сгорания // Наука и Образование. - 2022. - Т. 5. - №2.
10. Алимова З.Х., Шамансуров Б.Р., Мирзабоев И.А. Исследования причины загрязнения смазочных материалов применяемых в двигателях транспортных средств // Экономика и социум. - 2021. - №11-1(90). - С. 705-710.
11. Остриков В.В., Сазонов С.Н., Сафонов В.В., Савенков А.С., Сафонов К.В., Спиричков В.А. Оценка изменения вязкости моторного масла в процессе эксплуатации дизелей // Научная жизнь. - 2019. - Т. 14. - №4(92). - С. 480-489.
12. Мачехин Н.Ю., Ширлин И.И., Пашукевич С.В. Особенности эксплуатации техники при использовании высококачественных моторных масел с увеличенными интервалами замены // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. - 2019. - Т. 16. - №4(68). - С. 446-454.
13. Пашукевич С.В. Классификация загрязнителей моторных масел для дизельных двигателей // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. - 2022. - Т. 19. - №1(83). - С. 84-100.
14. Остриков В.В., Сазонов С.Н., Афоничев Д.Н., Козлов В.Г. Изменение вязкости моторного масла как показатель технического состояния двигателя внутреннего сгорания и свойств смазочного материала // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. - 2019. - Т. 12. - №3(62). - С. 54-61.
15. Авликулов Ж.С., Нарзиев С.О., Магдиев Ш.П. Исследование периодичности замены моторного масла в условиях эксплуатации // Вестник науки и образования. - 2021. - №9-3(112). - С. 16-19.
16. Малютин А.И. Изменение кинематической вязкости моторного масла при эксплуатации двигателей // Естественные и технические науки. - 2018. - №4(118). - С. 157-160.
17. Корнеев С.В., Пашукевич С.В., Рыбальский Д.С., Бакулина В.Д., Буравкин Р.В., Мачехин Н.Ю., Ширлин И.И. Влияние качества дизельного топлива на работу двигателя // Омский научный вестник. - 2017. - №2(152). - С. 13-16.
18. Бакулина В.Д., Корнеев С.В., Дорошенко С.В., Ширлин И.И. Оценка влияния отдельных физико-химических показателей моторных масел на содержание продуктов износа при эксплуатации двигателей автомобилей // Динамика систем, механизмов и машин. - 2022. - Т. 10. - №4. - С. 2-6.
19. Зленко М.А., Теренченко А.С. Топливо в моторном МАСЛЕ // Автомобильная промышленность. - 2022. - № 6. - С. 25-32.
20. Денисов А.С., Носов А.О., Кожинская А.В., Платонов В.В. Оценка состояния дизельного двигателя по параметрам рабочего масла // АвтоГазоЗаправочный комплекс + Альтернативное топливо. - 2021. - Т. 20. - №5. - С. 222-224.

Корнеев Сергей Васильевич

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет
Адрес: 644080, Россия, г. Омск, пр. Мира, 5
Д.т.н., профессор кафедры «Тепловые двигатели и автотракторное оборудование»
E-mail: svkorneev51@mail.ru

Пашукевич София Вячеславовна

Омский государственный технический университет
Адрес: 644050, Россия, г. Омск, пр. Мира, 11
Аспирант направления «Машиностроение»
E-mail: sofia96@bk.ru

Бакулина Вера Дмитриевна

Омский государственный технический университет
Адрес: 644050, Россия, г. Омск, пр. Мира, 11
Старший преподаватель кафедры «Химия и химическая технология»
E-mail: ver-bakulina81@mail.ru

S.V. KORNEEV, V.D. BAKULINA, S.V. PASHUKEVICH

THE INFLUENCE OF POLLUTION ON THE QUALITY INDICATORS OF MINERAL ENGINE OIL

Abstract. *The paper presents materials on the model high-temperature oxidation of modern engine oil contaminated with diesel fuel and solid carbon particles, which were added in various concentrations to the lubricant. To assess the performance of motor oils during operation in diesel engines of heavy-duty vehicles, it is necessary to determine quality indicators, such as kinematic viscosity at 40° C and 100° C, as well as flash point. The viscosity was determined using a Stabinger SVM 3000 viscometer. To determine the flash temperature, an automatic flash temperature recorder of petroleum products «Flash-A» was used.*

Keywords: *engine oil, internal combustion engine, solid particles, flash point, kinematic viscosity, diesel fuel*

BIBLIOGRAPHY

1. Ostrikov V.V., Orobinskiy V.I., Afonichev D.N., Zabrodskaya A.V. Issledovaniya po oчитке rabotayushchego motornogo masla i sistemy smazki ot zagryazneniy // Himiya i tekhnologiya topliv i masel. - 2021. - №6 (628). - S. 21-24.
2. Korneev S.V., Pashukevich S.V., Bakulina V.D., Pevnev N.G. Zagryaznenie motornykh masel pri zimney ekspluatatsii avtomobiley // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta. - 2022. - T. 19. - №5(87). - S. 680-691.
3. Nasyrova Yu.A., Molochnikov D.E. Zagryazneniya v motornom masle // V mire nauchnykh otkrytiy: Materialy VI Mezhdunarodnoy studencheskoy nauchnoy konferentsii. - Ul'yanovsk. - 2022. - S. 3874-3877.
4. Gimbitskaya L.A., Gimbitskiy V.A. K voprosu o zagryazneniyakh motornykh masel // Nauka rossii: tseli i zadachi: Sbornik nauchnykh trudov po materialam XXIX mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. - Ekaterinburg. - 2021. - S. 88-92.
5. Rakhmanov A.A. Vliyaniye ekspluatatsionnykh usloviy izmeneniya svoystv motornykh masel i rabochikh zhidkostey // Vestnik nauki. - 2023. - T. 2. - №4(61). - S. 199-203.
6. Koshelev A.V. Oчитka sistemy smazki dvigateley traktorov // Nauka v tseпtral'noy Rossii. - 2022. - №2(56). - S. 142-147.
7. Korneev S.V., Pashukevich S.V., Zhavoronkova Ya.V., Bakulina V.D., YArmovich Ya.V. Vliyaniye dizel'nogo topliva na okislyayemost' motornykh masel v avtomobil'nykh dvigatelyakh // Himicheskaya promyshlennost' segodnya. - 2019. - №6. - S. 38-41.
8. Zazulya A.N., Belov S.A. Izmeneniye svoystv motornogo masla vo vremya ekspluatatsii v dizel'nom dvigatele // Sovremennye metody tekhnicheskoy diagnostiki i nerazrushayushchego kontrolya detaley i uzlov. - 2020. - №1. - S. 5-8.
9. Abashkin R.I., Alekhin A.V. Izmeneniye motornogo masla v protsesse ekspluatatsii v dvigatelyakh vnutrennego sgoraniya // Nauka i Obrazovaniye. - 2022. - T. 5. - №2.
10. Alimova Z.H., Shamansurov B.R., Mirzaboev I.A. Issledovaniya prichiny zagryazneniya smazochnykh materialov primenyaemykh v dvigatelyakh transportnykh sredstv // Ekonomika i sotsium. - 2021. - №11-1(90). - S. 705-710.
11. Ostrikov V.V., Sazonov S.N., Safonov V.V., Savenkov A.S., Safonov K.V., Spirinkov V.A. Otsenka izmeneniya vyazkosti motornogo masla v protsesse ekspluatatsii dizeley // Nauchnaya zhizn'. - 2019. - T. 14. - №4(92). - S. 480-489.
12. Machekhin N.Yu., Shirlin I.I., Pashukevich S.V. Osobennosti ekspluatatsii tekhniki pri ispol'zovanii vysokokachestvennykh motornykh masel s uvelichennymi intervalami zameny // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta. - 2019. - T. 16. - №4(68). - S. 446-454.
13. Pashukevich S.V. Klassifikatsiya zagryazniteley motornykh masel dlya dizel'nykh dvigateley // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta. - 2022. - T. 19. - №1(83). - S. 84-100.
14. Ostrikov V.V., Sazonov S.N., Afonichev D.N., Kozlov V.G. Izmeneniye vyazkosti motornogo masla kak pokazatel' tekhnicheskogo sostoyaniya dvigatelya vnutrennego sgoraniya i svoystv smazochnogo materiala // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. - 2019. - T. 12. - №3(62). - S. 54-61.
15. Avliikulov Zh.S., Narziev S.O., Magdiev S.H.P. Issledovaniye periodichnosti zameny motornogo masla v usloviyakh ekspluatatsii // Vestnik nauki i obrazovaniya. - 2021. - №9-3(112). - S. 16-19.
16. Malutin A.I. Izmeneniye kinemacheskoy vyazkosti motornogo masla pri ekspluatatsii dvigateley // Estestvennyye i tekhnicheskoye nauki. - 2018. - №4(118). - S. 157-160.
17. Korneev S.V., Pashukevich S.V., Rybal'skiy D.S., Bakulina V.D., Buravkin R.V., Machekhin N.Yu., Shirlin I.I. Vliyaniye kachestva dizel'nogo topliva na rabotu dvigatelya // Omskiy nauchnyy vestnik. - 2017. - №2(152). - S. 13-16.
18. Bakulina V.D., Korneev S.V., Doroshenko S.V., Shirlin I.I. Otsenka vliyaniya otdel'nykh fiziko-khimicheskikh pokazateley motornykh masel na sodержaniye produktov iznosa pri ekspluatatsii dvigateley avtomobiley // Dinamika sistem, mekhanizmov i mashin. - 2022. - T. 10. - №4. - S. 2-6.
19. Zlenko M.A., Terenchenko A.S. Toplivo v motornom MASLE // Avtomobil'naya promyshlennost'. - 2022. - № 6. - S. 25-32.
20. Denisov A.S., Nosov A.O., Kozhinskaya A.V., Platonov V.V. Otsenka sostoyaniya dizel'nogo dvigatelya po parametram rabochego masla // AvtoGazoZapravochnyy kompleks + Al'ternativnoye toplivo. - 2021. - T. 20. - №5. - S. 222-224.

Korneev Sergei Vasilyevich

Siberian State Automobile And Highway University
Address: 644080, Russia, Omsk, Mira Ave., 5
Doctor of technical sciences
E-mail: svkorneev51@mail.ru

Bakulina Vera Dmitrievna

Omsk State Technical University
Address: 644080, Russia, Omsk, Mira Ave., 5
Senior lecturer
E-mail: ver-bakulina81@mail.ru

Pashukevich Sofia Vyacheslavovna

Omsk State Technical University
Address: 644080, Russia, Omsk, Mira Ave., 5
Graduate student
E-mail: sofia96@bk.ru

Научная статья

УДК 004.415.2

doi:10.33979/2073-7432-2023-3-4(82)-123-130

С.И. КОРЯГИН, А.В. БАБКИН, И.В. ЛИБЕРМАН, П.М. КЛАЧЕК

ИНДУСТРИЯ 5.0: СОЗДАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ КИБЕРСОЦИАЛЬНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Аннотация. Представлена качественная модель, гетерогенного транспортного потока интеллектуальной транспортной киберсоциальной экосистемы, состоящей из двух типов агентов (транспортных средств): управляемых человеком и биокibernетической системой управления. Представлен комплекс прикладных исследований имитационной модели кластерного движения транспортных средств в гетерогенной транспортной системе. Предложена архитектура нейро-цифрового инструментария создания интеллектуальной транспортной киберсоциальной экосистемы Индустрии 5.0, на примере компании SpaceX.

Ключевые слова: интеллектуальная транспортная система, клеточный автомат, Индустрия 5.0, искусственный интеллект, цифровой двойник

Введение

В настоящее время в Европе и России активно обсуждают следующий мега этап социально-экономического развития человечества. Речь идёт о концепции Индустрия 5.0. Аспекты концепции Индустрии 5.0 обсуждалась в 2020–2021 гг. на ряде известных Европейских и Российских форумов участниками из научно-исследовательских и технологических организаций. На базе Санкт-Петербургского политехнического университета имени Петра Великого в 2021–2023 г. прошёл цикл международных конференций по теме «Цифровая экономика и Индустрия 5.0 в условиях новой реальности» (сайт конференции <https://labec.spbstu.ru/inprom/>). Аналогичный цикл конференций по Индустрии 5.0, с участием ведущих ученых и специалистов из университетов Гарвард, Стенфорд, Сорбона, Оксфорд и т.д., прошёл в 2021–2023 г. во Франции (сайт конференции <https://arci-conference.com>). В работе [1] представлена концептуальная модель интеллектуальной киберсоциальной экосистемы на основе мультимодального гиперпространства в условиях Индустрии 5.0, а также описан когнитивный переход от киберфизических систем Индустрии 4.0 к интеллектуальным киберсоциальным экосистемам как объектам Индустрии 5.0. В работах [2–5] сформулированы и описаны специфические особенности функционирования киберсоциальных экосистем Индустрии 5.0: «метасистемность как порождение экосистемы на основе правила замены, когда из некоторого набора систем в каждый момент выбирается одна или группа функционирующих систем; междисциплинарный и кросс-отраслевой (надотраслевой) характер; мультимодальность на основе модульности и мультисервисности; повышенная интеллектуальность, «умность» и когнитивность на основе сочетания естественного (природного, человеческого) и искусственного (неприродного) интеллектов; гиперконвергентность и гиперавтоматизация». На основе данных свойств, в работе [6] рассмотрены концептуальные модели транспортно-промышленной триады киберсоциальных экосистем Индустрии 5.0 и трехуровневой конвергентной модели киберсоциальной, транспортной экосистемы.

Следующим этапом развития, разработанного к настоящему времени методологического и теоретического базиса в области создания интеллектуальных транспортных экосистем Индустрии 5.0 (ИТЭ_5.0.) должен стать переход к разработке формализованных архитектур и прикладных инструментариев ИТЭ_5.0, а также их внедрение и практическая апробация. В рамках, решения данной задачи авторы считают необходимым использовать итерационный подход внедрения высокотехнологичных моделей и прикладных инструментариев, успешно применяемый компанией SpaceX [5]. В рамках, данного подхода на первых этапах создаются самые простые прикладные модели и инструментарии высокотехнологичных инструментов,

на основе которых доказывается их целесообразность, анализируется потенциал их развития и предлагаются дальнейшие направления реализации.

Целью данной работы является разработка, простой, качественной модели, гетерогенного транспортного потока интеллектуальной транспортной киберсоциальной экосистемы, состоящей из двух типов агентов (транспортных средств (ТС)): управляемых человеком и биокрибернетической системой управления. Задача исследования являются:

1) разработка, на основе биокрибернетической парадигмы интеллектуального управления транспортным средством, простой, качественной модели, гетерогенного транспортного потока интеллектуальной транспортной киберсоциальной экосистемы;

2) провести комплекс прикладных исследований имитационной модели кластерного движения транспортных средств в гетерогенной транспортной системе, состоящей из двух типов агентов (транспортных средств): управляемых человеком и биокрибернетической системой управления;

3) на основе анализа экспериментальных данных сформулировать и реализовать задачу разработки архитектуры нейро-цифрового инструментария создания интеллектуальной транспортной киберсоциальной экосистемы Индустрии 5.0, на примере компании SpaceX.

Материал и методы

Канонической моделью создания клеточных автоматов, используемых для моделирования транспортных потоков, является модель Вольфрама (известная как правило 184) [7], набор эволюционных паттернов для которого показан на рис. 1 а. В соответствии, с моделью Вольфрама, состояние клетки КА на следующем шаге по времени зависит от ее состояния и состояний двух ближайших соседей на текущем шаге (рис. 1).

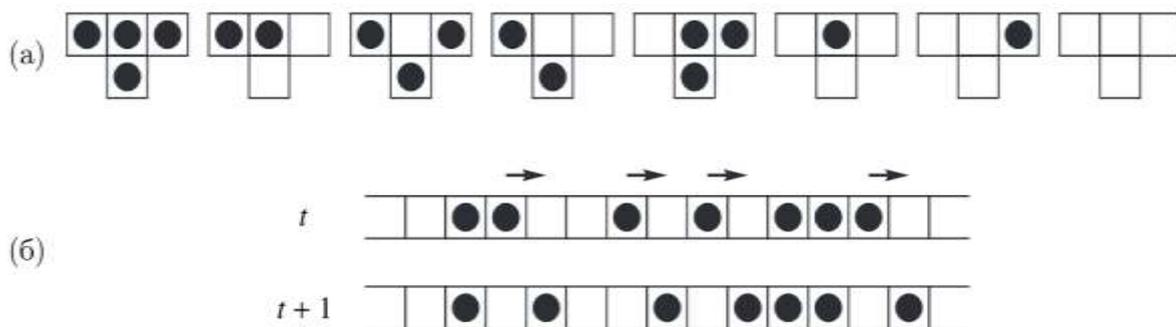


Рисунок 1 - Модель Вольфрама (правило 184, описывающее эволюцию КА):

а - эволюционные паттерны правила 184; б - иллюстрация для модели трафика (переход из состояния в момент времени t в состояние в момент времени t + 1)

В работе [8] представлен перспективный вариант нейро-цифрового контроллера, относящегося к типу нейрофидбеков [9], основанного на технологии биологической обратной связи и обеспечивающему формализацию процессов выработки и принятия водителем решений в процессе движения транспортного средства (рис. 2).

На основании, предложенной в работе [8] биокрибернетической парадигмы интеллектуального управления транспортным средством - заключается в том, чтобы скоординировать биологическую цепь управления, состоящую (в общем случае ручного или ножного управления) из следующих звеньев: «глаз → нервный канал → двигательный центр коры головного мозга → нервный канал → мышца → конечность → исполнительный орган → объект; с кибернетической состоящей из следующих звеньев: сенсорная система → CAN система → центральный процессор (система искусственного интеллекта) → биокрибернетическая система управления → исполнительный орган → объект [8]», - авторами был разработана следующая модель, представляющая эволюцию модели Вольфрама, гетерогенного транспортного потока интеллектуальной транспортной киберсоциальной экосистемы:

$$x_i(t + 1) = \begin{cases} x_i(t) + 1, & \text{если } rand[0,1] \leq P_i, \\ x_i(t) - & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (1)$$

$$P_i = \begin{cases} 0, & \text{если } Y_i = 0, \\ p_1, & \text{если } 0 < Y_i \leq 1, \\ p_2, & \text{если } 1 < Y_i \leq 2, \\ p_2, & \text{если } 2 < Y_i \leq 3, \\ 1, & \text{если } 3 < Y_i \leq 4, \end{cases}$$

где, $x_i(t)$ - текущее положение (номер ячейки клеточного автомата) i -го ТС в момент времени t ; $rand[0,1]$ – случайное действительное число, равномерно распределенное на отрезке $[0,1]$; P_i – вероятность, которая зависит от Y_i – комплексная, нейро-цифровая характеристика движения ТС, вычисляется на основе модели вычислений в нечетких системах [10], (рис.3), X_1 – расстояние до впереди идущего ТС, X_2 - реакция водителя на изменение режима движения ($X_2 \in \{0, \dots, 6\}$) [11], полученная на основе функционирования биокibernетической системы управления ТС [8].

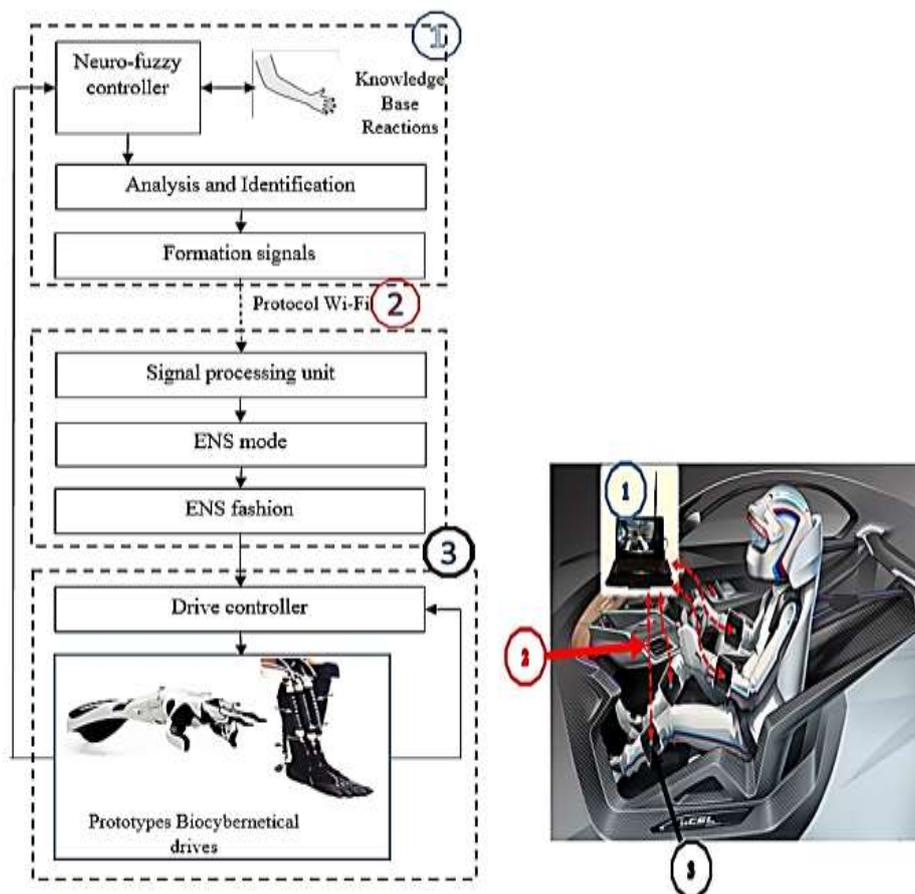


Рисунок 2 - Архитектура биокibernетической системы управления ТС [8]

В настоящее время разработано и проводятся эксперименты с несколькими конфигурациями нечетких вычислительных моделей для расчета комплексной, нейро-цифровой характеристики движения ТС. Представленный на рисунке 3 пример конфигурации нечеткой вычислительной модели для расчета комплексной, нейро-цифровой характеристики движения ТС включает в себя базу нечетких знаний, состоящую из 2 входных лингвистических переменных и 30 нечетких правил. Как показали исследования и расчеты, даже достаточно простые прикладные модели (1) гетерогенного транспортного потока интеллектуальной транспортной киберфизической экосистемы, позволяют качественно оценить потенциал, предлагаемого в рамках данной статьи подхода создания интеллектуальных транспортных киберсоциальных экосистем.

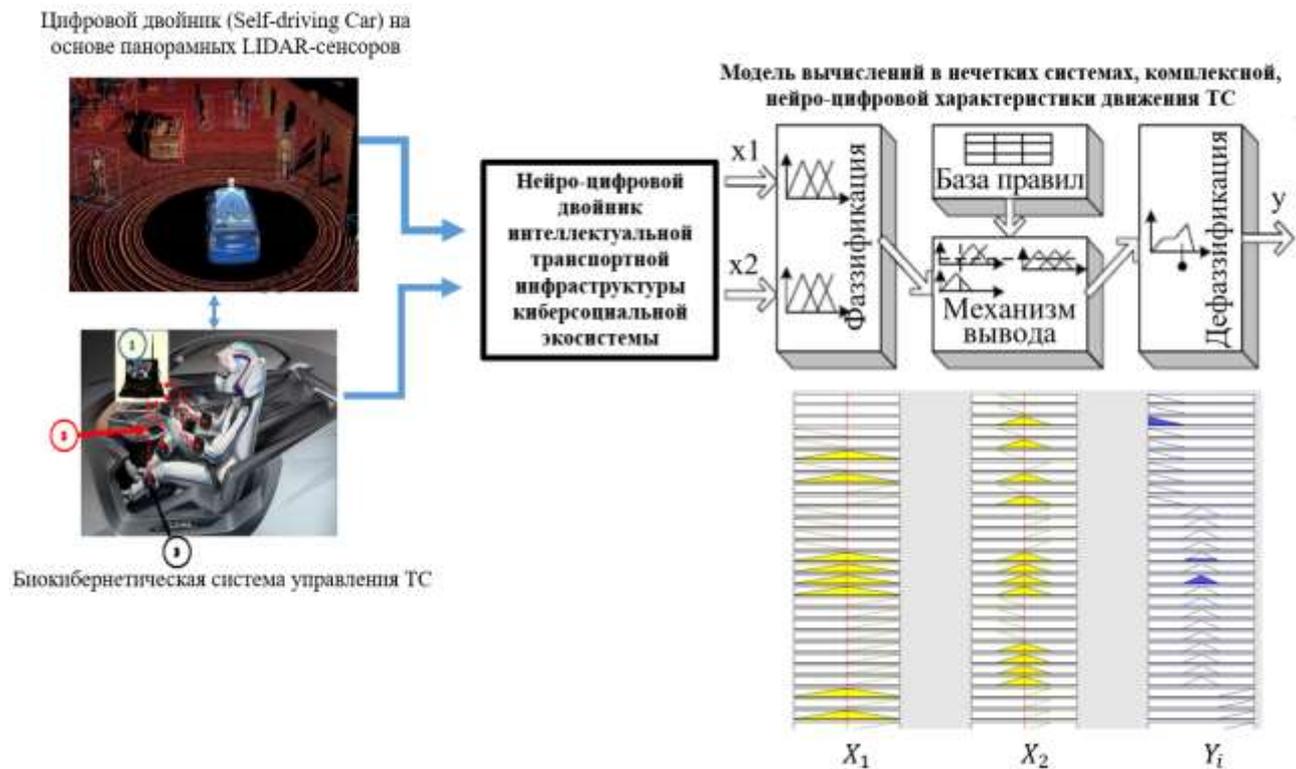


Рисунок 3 - Модель вычислений в нечетких системах комплексной, нейро-цифровой характеристики движения ТС

Теория / Расчет

Как показали исследования основное различие между управляемым человеком ТС и ТС управляемым на основе биокибернетической системы управления состоит во времени реакции на изменение поведения впереди едущего ТС. Эта реакция определяется типами текущего и впереди движущегося ТС. В гетерогенном транспортном потоке интеллектуальной транспортной киберфизической экосистемы, состоящем из двух типов ТС может быть четыре типа следования:

- (a) управляемое человеком ТС – управляемое человеком ТС;
- (b) управляемое человеком ТС – ТС управляемое на основе биокибернетической системы управления;
- (c) ТС управляемое на основе биокибернетической системы – управляемое человеком ТС;
- (d) ТС управляемое на основе биокибернетической системы – ТС управляемое на основе биокибернетической системы.

В всех четырех случаях группа из последовательно движущихся ТС может образовывать кластер из нескольких ТС, который перемещается как единое целое за счет обмена информацией между ТС через различные интерфейсы, например V2V [7]. Кроме того, как показали исследования применение ТС, управляемых на основе биокибернетической системы, в рамках гетерогенного транспортного потока, позволяют реализовать такую интеллектуальную транспортную систему управления, которая практически исключает эффект медленного старта, за счет обмена информацией о скоростях и ускорениях находящихся впереди ТС. Медленный старт является одной из причин пониженной пропускной способности дорог и возникает при начале движения на светофорах и при выходе из заторов.

На рис.4. представлены примеры пространственно-временных диаграмм (x-t-диаграмм) для трех случаев: все ТС управляются человеком (рис.4,а); все ТС управляются на основе биокибернетической системы управления, но не могут образовывать кластеры (рис.4, б); все ТС управляются на основе биокибернетической системы и могут образовывать кластеры, состоящие не более чем из 5 ТС (рис. 4 в).

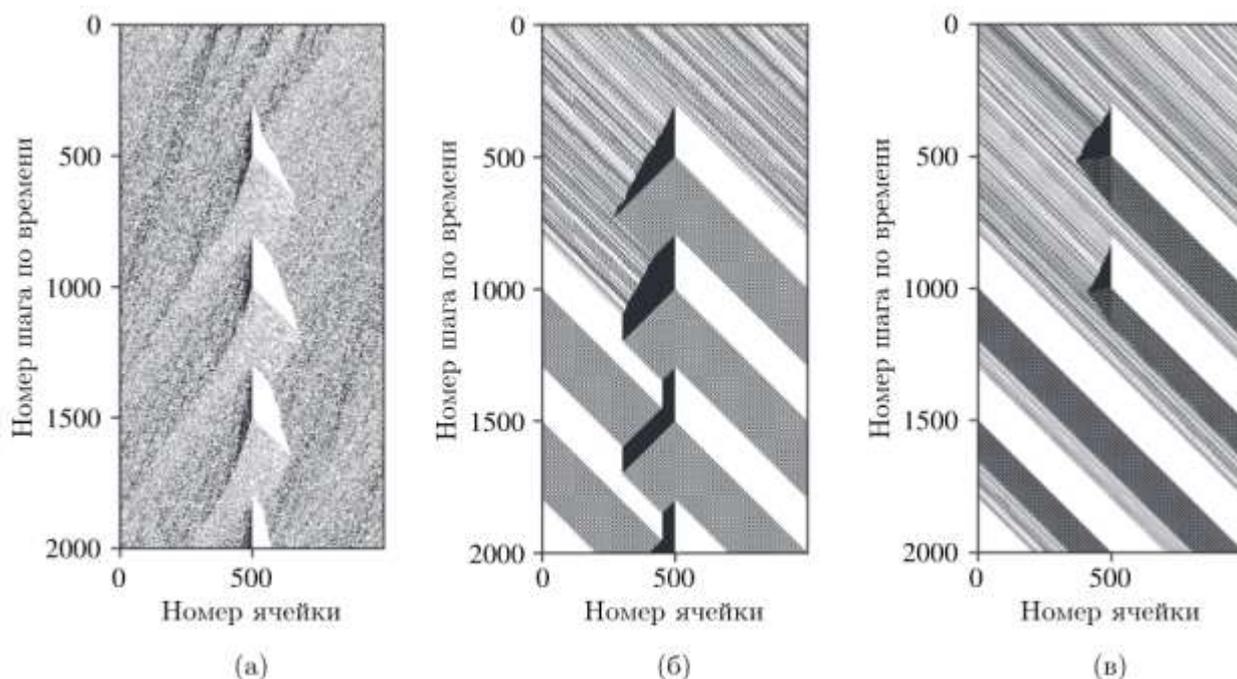


Рисунок 4 - Пространственно-временные диаграммы движения 500 ТС при длине однополосной дороги равной 900 клеток

Из сравнения рисунков 3 а, 3 б и 3 в видно существенное отличие характера движения ТС, управляемого на основе биокибернетической системы и ТС, управляемых человеком. Сравнение рисунков 3 а и 3 б подтверждает эффективность образования кластеров из 5 ТС, управляемых на основе биокибернетической системы, в результате которого достигаются синхронизация движения ТС в интеллектуальной транспортной системе и ликвидация заторов через несколько полных периодов работы светофоров.

Результаты и обсуждение

В работе [5] представлен нейро-цифровой инструментарий стратегического целеполагания и планирования Индустрии 5.0. на основе коллективного интеллекта. Развитие модели (1) на основе нейро-цифрового инструментария стратегического целеполагания и планирования Индустрии 5.0. привело к созданию, представленного на рис.4., нейро-цифрового инструментария создания интеллектуальной транспортной киберфизической экосистемы, на примере компании SpaceX.

Основные элементы, представленного на рисунке 5 нейро-цифрового инструментария создания интеллектуальной транспортной киберфизической экосистемы, на примере компании SpaceX, подробно рассмотрены в работах [5, 10]. Представленный на рисунке 5 нейро-цифровой инструментарий позволил создать, на основе применения методологии и технологии решения сложных задач методами функциональных гибридных интеллектуальных систем [12], комплекс крупно и мелкозернистых гибридных вычислительных моделей [13] транспортной киберсоциальной экосистемы Starbase (компании SpaceX) [5].

В отличие от модели (1), применение комплекса крупно и мелкозернистых гибридных вычислительных моделей, позволит выйти на принципиально новый метасистемный уровень моделирования транспортных процессов, предназначенных для реализации интеллектуальных транспортных систем новой формации для крупных (уровня экосистемы Starbase) киберсоциальных экосистем. Тем не менее, именно, благодаря созданию и экспериментам с достаточно простой моделью (1) гетерогенного транспортного потока интеллектуальной транспортной киберсоциальной экосистемы, удалось правильно и в кратчайшие сроки сформулировать и реализовать задачу создания, представленного на рисунке 5 нейро-цифрового инструментария создания интеллектуальной транспортной киберсоциальной экосистемы.

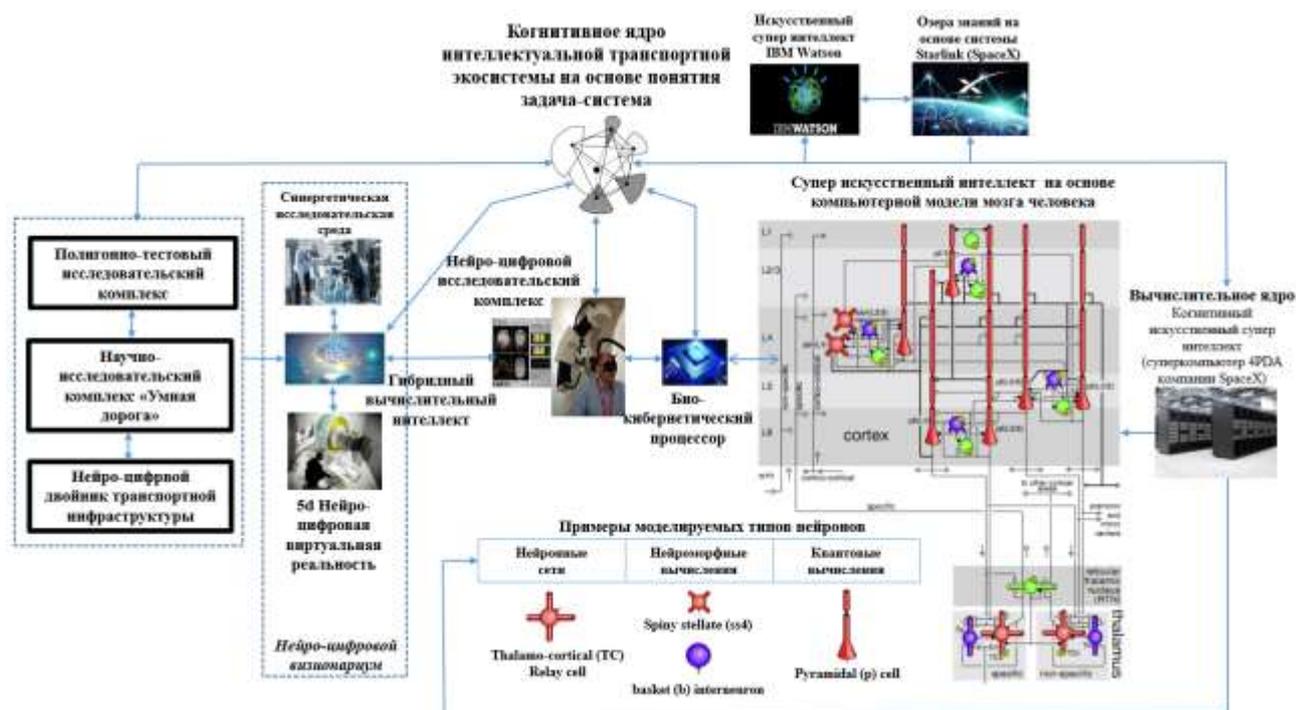


Рисунок 5 - Нейро-цифровой инструмент создания интеллектуальной транспортной киберсоциальной экосистемы, на примере компании SpaceX

Выводы

Предложенный подход к описанию гетерогенных транспортных потоков, позволяет на качественном уровне исследовать различные характера движения транспортных средств, управляемых на основе биокibernетической системы и ТС управляемых человеком. Проведенный комплекс исследований показывает, что само по себе наличие ТС в гетерогенном транспортном потоке, управляемых на основе биокibernетической системы, позволяет существенно повысить пропускную способность трасс за счет образования синергетического эффекта возникающего в транспортной системе. Если при этом в гетерогенном транспорте имеется возможность образовывать связанные кластеры, то пропускная способность может повыситься 3-5 раз.

Основным достоинством предложенного подхода является простота микроскопической модели движения ТС, а также возможность проведения, на основе данной модели, системных исследований, в области создания принципиально новых типов прикладных инструментариев интеллектуальных транспортных киберсоциальных экосистем.

Благодарности

Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда № 23-28-01316 «Стратегическое управление эффективным устойчивым ESG-развитием многоуровневой киберсоциальной промышленной экосистемы кластерного типа в циркулярной экономике на основе концепции Индустрия 5.0: методология, инструментарий, практика», <https://rscf.ru/project/23-28-01316>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабкин А.В., Шкарупета Е.В., Плотников В.А. Интеллектуальная киберсоциальная экосистема Индустрии 5.0: понятие, сущность, модель // Экономическое возрождение России. - 2021. - №4. - С. 39-62. - DOI: 10.37930/1990-9780-2021-4-70-39-62.
2. Бабкин А.В., Федоров А.А., Либерман И.В., Клачек П.М. Индустрия 5.0: понятие, формирование и развитие [Электронный ресурс] / Экономика промышленности: Russian Journal of Industrial Economics. - 2021. - №4. - С. 375-395. – Режим доступа: <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2021-4-375-395>.
3. Федоров А.А., Либерман И.В., Корягин С.И., Клачек П.М. Технология проектирования нейро-цифровых экосистем для реализации концепции Индустрия 5.0 [Электронный ресурс] / Научно-технические

ведомости СПбГПУ. Экономические науки. - 2021. - №3. - С. 19-39. – Режим доступа: <https://doi.org/10.18721/Е.14302>

4. Ташенова Л.В., Бабкин А.В. Индустрия 5.0 и киберсоциальные экосистемы: сущность и особенности // Индустрия 5.0, цифровая экономика и интеллектуальные экосистемы (ЭКОПРОМ-2021): Сборник трудов Всероссийской (Национальной) научно-практической конференции. - СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС. - 2021. - С. 200-205. - DOI: 10.18720/ЕР/2021.3/55.

5. Бабкин А.В., Корягин С.И., Либерман И.В., Клачек П.М., Богданова А.А., Сагателян Н.Х. Индустрия 5.0: Нейро-цифровой инструментарий стратегического целеполагания и планирования // Технико-технологические проблемы сервиса. - 2022. - №3. - С. 64-85.

6. Бабкин А.В., Корягин С.И., Либерман И.В., Клачек П.М. Индустрия 5.0: Создание киберсоциальных экосистем в экономике и промышленности (на примере транспортной сферы) // Цифровая экономика и Индустрия 5.0 в условиях новой реальности (ЭКОПРОМ-2022): Сборник трудов Всероссийской (Национальной) научно-практической конференции. - СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС. - 2022. - С. 182-204. - DOI: 10.18720/ЕР/2022.3/8.

7. Быков Н.В. Моделирование кластерного движения беспилотных транспортных средств в гетерогенном транспортном потоке // Компьютерное моделирование и исследование. - 2022. - Т. 14. - №5. - С. 1041-1058. - DOI: 10.20537/2076-7633-2022-14-5-1041-1058.

8. Koriagin S., Klachek P. Innovative development of intelligent transport systems based on biocybernetical vehicle control systems // Transportation Research Procedia. - 2017. – Vol. 20. - P. 326-333. - DOI: 10.1016/j.trpro.2017.01.038.

9. Нейротехнологии: нейро-БОС и интерфейс «мозг – компьютер»: Монография / Кирой В.Н., Лазуренко Д.М., Шепелев И.В., Асланян Е.В. - Ростов-на-Дону: Южного федерального университета, 2017. - 244 с.

10. Основы создания нейро-цифровых экосистем. Гибридный вычислительный интеллект / Федоров А.А., Корягин С.И., Либерман И.В. и др. - Калининград: БФУ им. И. Канта, 2021. - 241 с.

11. Рожанский Д.В. Моделирование управления транспортным средством в плотном потоке // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. - 2008. - №1(16). - С. 117-120.

12. Колесников А.В., Кириков И.А. Методология и технология решения сложных задач методами функциональных гибридных интеллектуальных систем. - М.: ИПИ РАН, 2007. - 387 с.

13. Решение сложных задач коммивояжера методами функциональных гибридных интеллектуальных систем / Колесников А.В., Кириков И.А., Листопад С.В. и др. - М.: ИПИ РАН, 2011. - 295 с.

Корягин Сергей Иванович

Балтийский федеральный университет имени И. Канта

Адрес: 236041, Россия, Калининград, ул. Александра Невского, 14

Д.т.н., профессор, советник руководителя ОНК «Институт высоких технологий» по взаимодействию с индустриальными партнерами

E-mail: skoryagin@kantiana.ru

Бабкин Александр Васильевич

Санкт-Петербургский политехнический университет имени Петра Великого

Адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29

Д.э.н., ведущий научный сотрудник НИЛ Политехинвест

E-mail: al-vas@mail.ru

Либерман Ирина Владимировна

Балтийский федеральный университет имени И. Канта

Адрес: 236041, Россия, Калининград, ул. Александра Невского, 14

К.ф/м.наук, доцент, директор Высшей школы физических проблем и технологий ОНК «Институт высоких технологий»

E-mail: iliberman@kantiana.ru

Клачек Павел Михайлович

Балтийский федеральный университет имени И. Канта

Адрес: 236041, Россия, Калининград, ул. Александра Невского, 14

К.т.н., доцент ОНК «Институт высоких технологий»

E-mail: pklachek@mail.ru

S.I. KORYAGIN, A.V. BABKIN, I.V. LIBERMAN, P.M. KLACHEK

**INDUSTRY 5.0: CREATION OF INTELLIGENT TRANSPORT
CYBER-SOCIAL ECOSYSTEMS**

Abstract. A qualitative model is presented of a heterogeneous transport flow of an intelligent transport cyber-social ecosystem, consisting of two types of agents (vehicles): controlled by a person and a bio-cybernetic control system. A set of applied studies of a simulation model of the cluster movement of vehicles in a heterogeneous transport system is presented. The architecture of neuro-digital tools for creating an intelligent transport cyber-social ecosystem of Industry 5.0 is proposed, using the example of SpaceX.

Keywords: intelligent transport system, cellular automaton, Industry 5.0, artificial intelligence, digital twin

BIBLIOGRAPHY

1. Babkin A.V., Shkarupeta E.V., Plotnikov V.A. Intellektual'naya kibersotsial'naya ekosistema Industrii 5.0: ponyatie, sushchnost', model' // Ekonomicheskoe vrozozhdenie Rossii. - 2021. - №4. - S. 39-62. - DOI: 10.37930/1990-9780-2021-4-70-39-62.
2. Babkin A.V., Fedorov A.A., Liberman I.V., Klachek P.M. Industriya 5.0: ponyatie, formirovanie i razvitie [Elektronnyy resurs] / Ekonomika promyshlennosti: Russian Journal of Industrial Economics. - 2021. - №4. - S. 375-395. - Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2021-4-375-395>.
3. Fedorov A.A., Liberman I.V., Koryagin S.I., Klachek P.M. Tekhnologiya proektirovaniya neyrotsifrovoykh ekosistem dlya realizatsii kontseptsii Industriya 5.0 [Elektronnyy resurs] / Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU. Ekonomicheskie nauki. - 2021. - №3. - S. 19-39. - Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.18721/JE.14302>
4. Tashenova L.V., Babkin A.V. Industriya 5.0 i kibersotsial'nye ekosistemy: sushchnost' i osobennosti // Industriya 5.0, tsifrovaya ekonomika i intellektual'nye ekosistemy (EKOPROM-2021): Sbornik trudov Vserossiyskoy (Natsional'noy) nauchno-prakticheskoy konferentsii. - SPb.: POLITEH-PRESS. - 2021. - S. 200-205. - DOI: 10.18720/IEP/2021.3/55.
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-tekhnologicheskije problemy servisa. - 2022. - №3. - S. 64-85.
6. Babkin A.V., Koryagin S.I., Liberman I.V., Klachek P.M. Industriya 5.0: Cozdanie kibersotsial'nykh ekosistem v ekonomike i promyshlennosti (na primere transportnoy sfery) // Tsifrovaya ekonomika i Industriya 5.0 v usloviyakh novoy real'nosti (EKOPROM-2022): Sbornik trudov Vserossiyskoy (Natsional'noy) nauchno-prakticheskoy konferentsii. - SPb.: POLITEH-PRESS. - 2022. - S. 182-204. - DOI: 10.18720/IEP/2022.3/8.
7. Bykov N.V. Modelirovanie klasternogo dvizheniya bespilotnykh transportnykh sredstv v geterogennom transportnom potoke // Komp'yuternoe modelirovanie i issledovanie. - 2022. - T. 14. - №5. - S. 1041-1058. - DOI: 10.20537/2076-7633-2022-14-5-1041-1058.
8. Koriagin S., Klachek P. Innovative development of intelligent transport systems based on biocybernetical vehicle control systems // Transportation Research Procedia. - 2017. - Vol. 20. - P. 326-333. - DOI: 10.1016/j.trpro.2017.01.038.
9. Neyrotekhnologii: neyro-BOS i interfeys «mozg - komp'yuter»: Monografiya / Kirov V.N., Lazurenko D.M., Shepelev I.V., Aslanyan E.V. - Rostov-na-Donu: Yuzhnogo federal'nyy universitet, 2017. - 244 s.
10. Osnovy sozdaniya neyro-tsifrovoykh ekosistem. Gibridnyy vychislitel'nyy intellekt / Fedorov A.A., Koryagin S.I., Liberman I.V. i dr. - Kaliningrad: BFU im. I. Kanta, 2021. - 241 s.
11. Rozhanskiy D.V. Modelirovanie upravleniya trasportnym sredstvom v plotnom potoke // Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta transporta: Nauka i transport. - 2008. - №1(16). - C. 117-120.
12. Kolesnikov A.V., Kirikov I.A. Metodologiya i tekhnologiya resheniya slozhnykh zadach metodami funktsional'nykh gibridnykh intellektual'nykh sistem. - M.: IPI RAN, 2007. - 387 s.
13. Reshenie slozhnykh zadach kommivoyazhera metodami funktsional'nykh gibridnykh intellektual'nykh sistem / Kolesnikov A.V., Kirikov I.A., Listopad S.V. i dr. - M.: IPI RAN, 2011. - 295 s.

Koryagin Sergey Ivanovich
Immanuel Kant Baltic Federal University
Address: 236041, Russia, Kaliningrad
Doctor of technical sciences
E-mail: skoryagin@kantiana.ru

Liberman Irina Vladimirovna
Immanuel Kant Baltic Federal University
Address: 236041, Russia, Kaliningrad
Candidate of physical and mathematical sciences
E-mail: iliberman@kantiana.ru

Babkin Alexander Vasilievich
Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University
Address: 195251, Russia, St. Petersburg
Doctor of economics sciences
E-mail: al-vas@mail.ru

Klachek Pavel Mikhailovich
Immanuel Kant Baltic Federal University
Address: 236041, Russia, Kaliningrad
Candidate of technical sciences
E-mail: pklachek@mail.ru

Научная статья

УДК 656.1

doi:10.33979/2073-7432-2023-3-4(82)-131-142

И.М. МИХНЕВИЧ

СРАВНЕНИЕ МЕТОДИК ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЙ ПОСЛЕ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ СКОРОСТНЫХ АВТОБУСНЫХ ПЕРЕВОЗОК (САП)

Аннотация. Согласно Повестке дня в области устойчивого развития на период до 2030 года, принятой всеми государствами-членами Организации Объединённых Наций, одной из целей устойчивого развития является стремление «сделать города и населённые пункты открытыми, безопасными, жизнеспособными и устойчивыми». Данная цель включает в себе такие понятия, как «устойчивый транспорт» и «устойчивые города и населённые пункты». Развивая экологически безопасный пассажирский транспорт, город обеспечивает себе высокий уровень роста экономики при возможности сохранения окружающей среды, способствуя налаживанию районных транспортных связей. Современные исследования в области влияния систем скоростных автобусных перевозок (САП) на устойчивое развитие городских агломераций доказывают возможность совместного развития пассажирского транспорта и сопредельных городских территорий, что позволяет достичь значительных результатов в решении задач устойчивого развития.

Ключевые слова: скоростной автобусный транспорт, пассажирский транспорт, транспортный комплекс, транспортное обслуживание, городское планирование, устойчивое развитие

Введение

Система скоростных автобусных перевозок (САП) способна сочетать в себе уровень обслуживания железнодорожных систем с гибкостью автобусных систем при относительно более низких инвестиционных затратах, при этом САП, которые характеризуются современными транспортными средствами и применением технологий ИТС, всё чаще рассматриваются как перспективный подход к предоставлению высококачественных пассажирских перевозок на основе современных транспортных средств [1].

Всё больше и больше городов обращаются к САП как к способу экономически эффективного расширения услуг общественного транспорта, помогающему уменьшить транспортные заторы, сократить атмосферные выбросы, расширить возможности передвижения для всех категорий населения и увеличить среднюю скорость движения городского пассажирского транспорта (ГПТ). При прочих равных условиях за значительным увеличением скорости движения ГПТ должны последовать значительные изменения в землепользовании, такие как уплотнение и повышение стоимости недвижимости. В последние годы САП продемонстрировали значительный рост благодаря своей экономической эффективности, однако эмпирические данные о землепользовании и экономических последствиях САП ограничены. Взаимосвязь между транспортом и территориальным планированием предполагает, что земельная рента и плотность населения увеличиваются, когда участки расположены ближе к основным узлам деятельности в пределах городской пространственной структуры. Инвестиции в ГПТ влияют на пространственное распределение атрибутов городской пространственной структуры, таких как стоимость земли и высота зданий, благодаря предоставляемым ими преимуществам транспортной доступности. В свою очередь, дополнительная плотность приносит пользу системам САП. Это взаимовлияние между транспортной инфраструктурой и городским развитием создаёт возможности для преобразования городов с помощью инвестиций в транспортную систему. В данной статье гипотеза влияния систем САП на устойчивое развитие городских агломераций проверяется путём изучения изменений в землепользовании, вызванных внедрением услуг САП.

Материал и методы

Методологической основой служат основные положения теории организации перевозок пассажиров транспортом общего пользования, в том числе с учётом современных тен-

денций, а также системный подход, включающий в себя анализ, сравнение, обобщение материала по теме исследования и моделирование.

Теория

Несмотря на то, что системы САП быстро создавались в течение последних двух десятилетий, исследователи все ещё анализируют аспекты того, как именно САП влияет на городскую среду. Хотя большинство исследований сосредоточено в первую очередь на воздействии САП на землепользование и застройку, следует также привести краткое изложение литературы о влиянии САП на стоимость недвижимости по двум причинам. Во-первых, существует тесная связь между изменениями стоимости недвижимости и изменениями в землепользовании и застройке. Например, застройщикам может потребоваться увеличить интенсивность застройки земельных участков с увеличением соотношения площадей, или землепользование может измениться в ответ на постепенное увеличение стоимости земли и имущества. Во-вторых, эти исследования были в основном сосредоточены на влиянии систем САП на стоимость недвижимости с использованием схем поперечных исследований и, в некоторых случаях, с анализом данных об изменениях за короткие периоды времени, несмотря на тот факт, что оценки изменений в землепользовании и последствий освоения земель требуют более длительного периода времени из-за более медленных темпов изменений в городской структуре. Таким образом, имеющиеся знания о влиянии САП на процесс городского развития начинаются с изучения влияния стоимости недвижимости и могут быть расширены на изменения в землепользовании и застройке, опираясь на предыдущие эмпирические данные.

Количество зарегистрированных изменений плотности застройки вокруг остановок САП было нерегулярным. Есть примеры, в т. ч. Сеул (Республика Корея), в которых соотношение площадей вокруг остановок САП увеличилось, даже если землепользование оставалось прежним, с использованием многоуровневых моделей гедонистического ценообразования [2]. Если рассматривать пример Боготы (Колумбия), доказательства данной теории неоднозначны. С одной стороны, исследователи в [3] сосредоточились на плотности населения с помощью применения регрессионной модели «разница в разнице», обнаружив значительное увеличение плотности в зонах, обслуживаемых САП, особенно в тех, которые обслуживаются подвозящими маршрутами. Однако не было обнаружено увеличения площади застройки по отношению к интенсивности коммерческого и офисного использования. С другой стороны, два других исследования второй очереди САП в Боготе, в которых рассматривались изменения только за четыре года после открытия новой линии САП, а не анализ «до» и «после», показали, что соотношение площадей в зонах САП в целом увеличилось на 7 %, в то время как в зонах перспективного развития САП наблюдалось увеличение на 10 % [4,5].

Исследования изменений в землепользовании, вызванных внедрением системы САП, также показали неоднородное воздействие. Это означает, что внедрение системы САП не означает, что её воздействие идентично по всем её коридорам, согласно данным литературы. Исследование, проведённое в девяти городах США, выявило положительные результаты развития в районах, обслуживаемых САП, где количество новых офисных площадей и многоквартирных домов в пределах 800 м от коридоров САП увеличилось с 11,4 % до 15,2 % с 2008 года, на основе анализа данных «до» и «после» [6]. В Сеуле значительное преобразование жилого использования в более интенсивное многоквартирное было более вероятным в пределах 500 м от станции САП по сравнению с земельными участками, расположенными на отдалении от станций, с использованием данных поперечного сечения с применением многоуровневых моделей гедонистического ценообразования [2]. Изменения вдоль коридоров САП в Боготе, Ахмедабаде (Индия) и Гуанчжоу (Китай) также предполагают различные изменения в землепользовании в районах, обслуживаемых системами ГПТ этих городов, если изучить данные о землепользовании до и после изменений в коридоре САП [7].

С точки зрения деятельности в сфере недвижимости, влияние САП, по-видимому, зависит от местных рыночных условий. В Боготе в одном исследовании сообщалось об увеличении плотности выдачи разрешений на строительство вокруг станций САП на 16-24 %. В более широком смысле, на уровне микрорайона интерес рынка (выраженный в недавних раз-

работках и одобренных, но ещё не реализованных проектах), а также доступность земли являются ключевыми факторами, определяющими будущую деятельность [8]. Было доказано, что на деятельность по застройке влияют следующие факторы: социально-демографический состав района (в т. ч. доход, образование и возраст жителей); наличие определённых видов землепользования в районе (например, наличие промышленного использования может снизить стоимость, в то время как мелкомасштабное розничное использование может повысить стоимость); доступность общественных благ (наличие парков и дорог), а также безопасность [9]. Другие факторы, которые могут сделать участки более или менее привлекательными для застройки, включают транспортную доступность района [10] и характеристики участков, такие как зонирование, размер участка, наличие социальных услуг для населения и близость к таким удобствам, как парки и остановки общественного транспорта [11].

Расчёт

В Боготе были изучены три зависимые переменные (площадь застройки, участки, предназначенные для жилого использования, и участки, предназначенные для коммерческого использования), а в Кито – две зависимые переменные: площадь застройки и наличие новых застроек (последнее было основано на возрасте строительства для каждого земельного участка). Площадь застройки была выбрана в качестве зависимой переменной, следуя подходу количественного анализа данных [12]. Также внимание исследователей было сосредоточено на коммерческом и жилом землепользовании в соответствии с типами землепользования.

В работе [13] делается упор на три результата: изменения в землепользовании, изменения в застроенной территории и изменения в девелоперской деятельности. Измерения этих результатов производились на уровне участка, изучая преобладающую площадь застройки и землепользование каждого участка с течением времени. В Боготе наблюдались корреляции каждый год в течение 13 лет (с 2000 по 2013 год), в Кито – в течение 10 лет (с 2000 по 2010 год). Учитывая, что коридоры были внедрены в разное время в каждом городе, периоды «до» и «после» для каждого коридора неодинаковы. В Боготе за тремя коридорами САП («*Caracas*», «*Norte*» и «*Calle 80*») наблюдали за 1 год до начала коммерческой эксплуатации BRT и в течение 12 лет после строительства. В Кито коридор «*Ecovia*» был обследован за 1 год до и в течение 8 лет после строительства, в то время как «*Occidental*» наблюдался за 4 года до и в течение 5 лет после строительства.

Результаты в Боготе показывают незначительные различия в зонах застройки для участков, например, для «*Caracas*» общее изменение за период с 2001 по 2003 год составило 18,86 % (сумма прироста 2001 года на 6,95 %, прироста 2002 года на 4,94 % и прироста 2003 года на 6,96 %). Результаты также свидетельствуют о значительном снижении для корреляций, обслуживаемых «*Norte*» до 2005 года (-1,10 %), но в 2006 году произошёл прирост на 4,72 %, что послужило началом положительной тенденции до 2013 года. Хотя процент застроенной территории вдоль «*Calle 80*» ниже, чем других коридорах САП и зонах перспективного развития САП, разница уменьшается после 2002 года.

Результаты по влиянию системы САП в Кито на перестройку городской среды предполагают аналогичную картину для обоих коридоров с течением времени, хотя вероятность перепланировки вдоль «*Ecovia*» выше, чем для «*Occidental*». После открытия «*Ecovia*» в 2002 году вероятность перестройки возросла в 2004 (5,64 %), 2005 (5,47 %) и 2006 году (5,16 %). Участки, расположенные вдоль «*Occidental*», после открытия САП в 2005 году имели меньшую вероятность перестройки по сравнению с предыдущими годами. Результаты, касающиеся коридора «*Occidental*», могут быть связаны с тем фактом, что Международный аэропорт им. Марискаля Сукре ранее располагался рядом с данным коридором САП до 2013 года, таким образом, только после переноса аэропорта были сняты ограничения по высоте зданий. Результат, полученный для расстояния до Центрального делового района, предполагает, что перестройка становится более вероятной по мере увеличения расстояния от центра города, а следовательно, и от Исторического центра.

График распределения полученных результатов по каждому коридору приведён на рисунке 1.

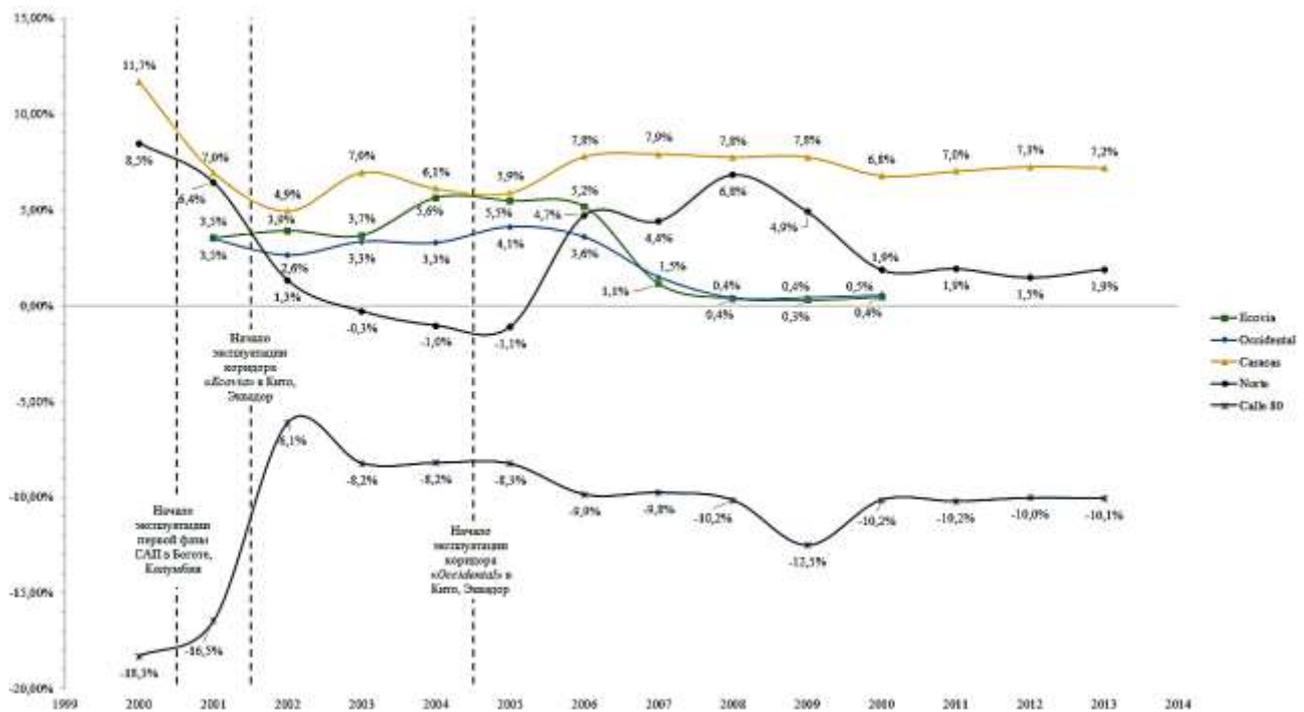


Рисунок 1 – Оценочное среднее влияние САП на изменение площади застройки (в процентах) с течением времени по коридорам в Боготе, Колумбия, и Кито, Эквадор

Для оценки состояния устойчивого развития, ориентированного на САП, в Латинской Америке, в исследовании [14] была изучена застроенная среда вокруг станций САП в gznb городах, информация о которых представлена в таблице 1. В исследовании были отобраны крупные города, в которых системы САП функционировали пять и более лет. Совокупно на указанные города приходится 16 % мирового пассажиропотока САП и 31 % пассажиропотока САП в Латинской Америке. Кроме того, были рассмотрены два типа станций САП: регулярные станции, которые относятся к обычным станциям САП, и пересадочные терминалы, которые относятся к станциям в конце линии или там, где происходят значительные пересадки с одной линии САП на другую.

Таблица 1 – Информация об изученных городах и системах САП

Город	Население, млн. чел.	Год начала эксплуатации системы САП	Длина САП, км	Пассажиропоток, пасс./день	Регулярные станции		Пересадочные терминалы	
					Всего	Исследуемые	Всего	Исследуемые
Куритиба, Бразилия	1,8	1977	81	505 000	113	9	30	7
Гояния, Бразилия	1,3	1976	27	240 000	19	6	5	5
Гватемала, Гватемала	1,1	2006	39	210 000	18	9	3	1
Гуаякиль, Эквадор	2,7	2006	33	310 000	50	8	3	3
Сан-Паулу, Бразилия	2,2	1988	33	180 000	53	7	8	5

При таком большом количестве переменных (38) и относительно небольшом количестве наблюдений (82) использовался исследовательский факторный анализ для разработки подмножества переменных и оценки их факторных оценок. Факторный анализ основан на корреляции данных для выявления групп переменных, которые наиболее похожи друг на друга. 38 переменных были сведены к девяти факторам для дальнейшего изучения:

- 1) удобство для пешеходов, с подключёнными «зелёными» и общественными пространствами;
- 2) пристроенные жилые помещения для одной семьи, расположенные не в центре города;
- 3) многоквартирные дома с высокой плотностью застройки;
- 4) незанятые земли;
- 5) обустроенные зоны смешанного назначения;
- 6) облагороженные зелёные насаждения;
- 7) общественные объекты, ориентированные на САП;
- 8) крупномасштабная коммерческая застройка;
- 9) консолидированная непромышленная городская структура.

Данная типология выявила проблемы и возможности для улучшения ориентации устойчивого развития САП. Только в центре города и в центрах-спутниках, ориентированных на САП, обеспечивалась адекватная интеграция пешеходной среды и транспорта. Городской центр такого типа, как в Куритибе, оказался наиболее оптимальным для улучшенной интеграции с САП, поскольку обладает достаточной плотностью и сочетанием применений для его поддержки. Тип станции, как в Гоянии, воплощает в себе частую проблему для местных планировщиков. Такие станции и пересадочные терминалы должны располагаться таким образом, чтобы облегчить интермодальные перевозки, но зачастую это приводит к потере доступа местных пользователей и транзитной ориентации остановки.

В исследовании [15] измеряются устойчивые преобразования в землепользовании, плотность городского населения и экономический эффект, наблюдаемый после внедрения САП в Лахоре, Пакистан. Анализ данных показывает, что система САП в Лахоре обладает потенциалом для стимулирования изменения устойчивого землепользования, однако степень изменения зависит от контекста. Оценённые станции САП, такие как «*Timber Market*», «*Qartaba Chowk*» и «*Kalma Chowk*», показали увеличение коммерческой деятельности в связи с изменением землепользования. Изменения землепользования для станций «*Timber Market*», «*Qartaba Chowk*» и «*Kalma Chowk*» представлены на рисунках 2, 3 и 4 соответственно и в таблице 2.

Таблица 2 – Фактические изменения землепользования вблизи станций САП «*Timber Market*», «*Qartaba Chowk*» и «*Kalma Chowk*»

Тип землепользования	Станция « <i>Timber Market</i> »			Станция « <i>Qartaba Chowk</i> »			Станция « <i>Kalma Chowk</i> »		
	2012	2019	Разница, %	2012	2019	Разница, %	2012	2019	Разница, %
	Площадь, га	Площадь, га		Площадь, га	Площадь, га		Площадь, га		
Жилая застройка	41,0087	40,5474	-1,12	23,4512	23,0930	-1,53	23,6877	23,7328	0,19
Коммерческая застройка	6,4423	8,8761	37,78	18,6865	19,6591	5,20	5,1687	5,8998	14,14
Зона рекреации	5,7849	4,3002	-25,67	3,5611	3,6100	1,37	1,7224	1,4340	-16,74
Общественные здания	2,1827	2,1827	0,00	6,5424	6,5424	0,00	7,2519	7,2519	0,00
Открытые пространства	2,2677	2,2677	0,00	2,0982	2,0982	0,00	16,4887	16,4514	-0,23
Медицинские учреждения	0,1616	0,1616	0,00	0,0000	0,0000	0,00	0,3402	0,3402	0,00
Промышленная застройка	0,3297	0,3297	0,00	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0,0000	0,00
Офисные помещения	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0,0000	0,00	2,3490	2,4436	4,03
Кладбище	0,0000	0,0000	0,00	3,8532	3,8532	0,00	0,7746	0,7746	0,00
Свободно	0,4879	0,0000	-100,00	0,6928	0,0294	-95,76	0,5451	0,0000	-100,00

Станция «Timber Market»
Изменения землепользования



Землепользование в 2012 году

Землепользование в 2019 году

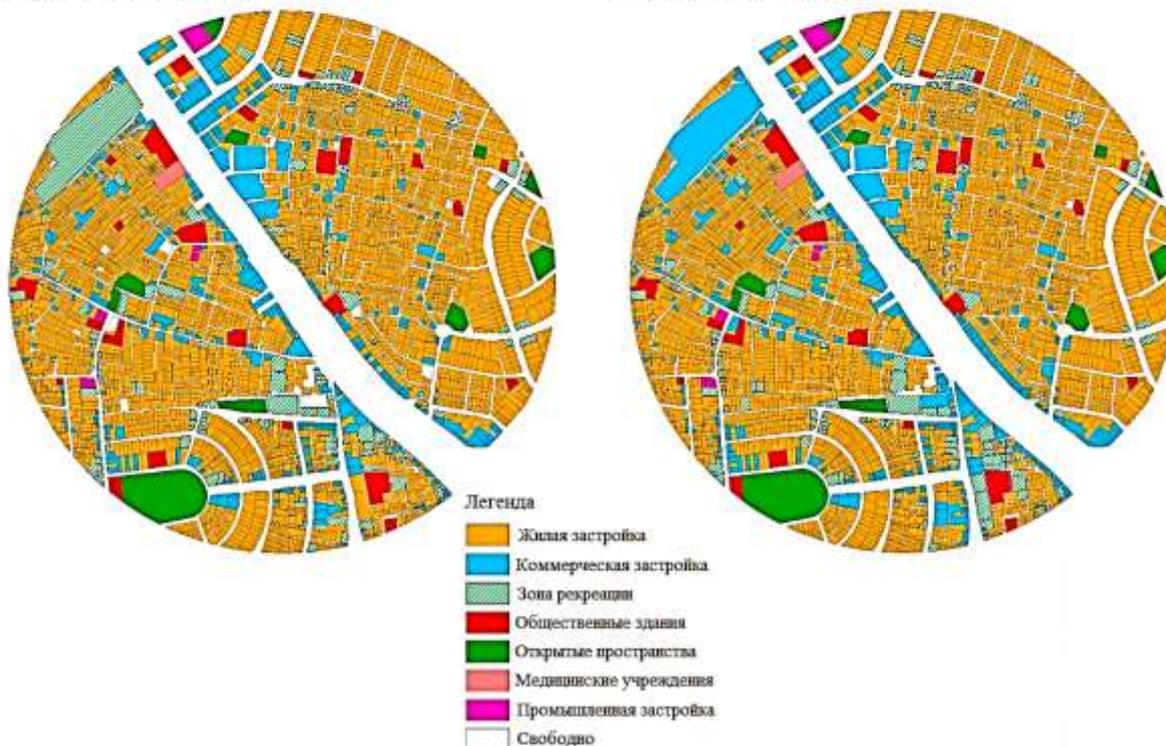


Рисунок 2 – Изменение землепользования близи станции САП «Timber Market» в Лахоре, Пакистан

Результаты подтверждают, что все районы прошли через изменение землепользования, однако степень перехода варьируется по всему коридору. Изменение численности населения и плотности застройки также очевидно в исследуемых районах. Увеличение плотности застройки жилого и коммерческого назначения наблюдается в основном на всех станциях. По сравнению с общей застройкой Лахора, районы вокруг САП становятся всё более привлекательными для жилой и коммерческой деятельности. Население, проживающее вблизи станций САП, удовлетворяет свои жилищные потребности путём вертикального уплотнения в тех случаях, когда для новой застройки доступно меньше земли или она отсутствует. Кроме того, преимущества доступности, предоставляемые САП, и расширение рынка земли также побудили людей строить выше, что привело к увеличению вертикальной плотности.

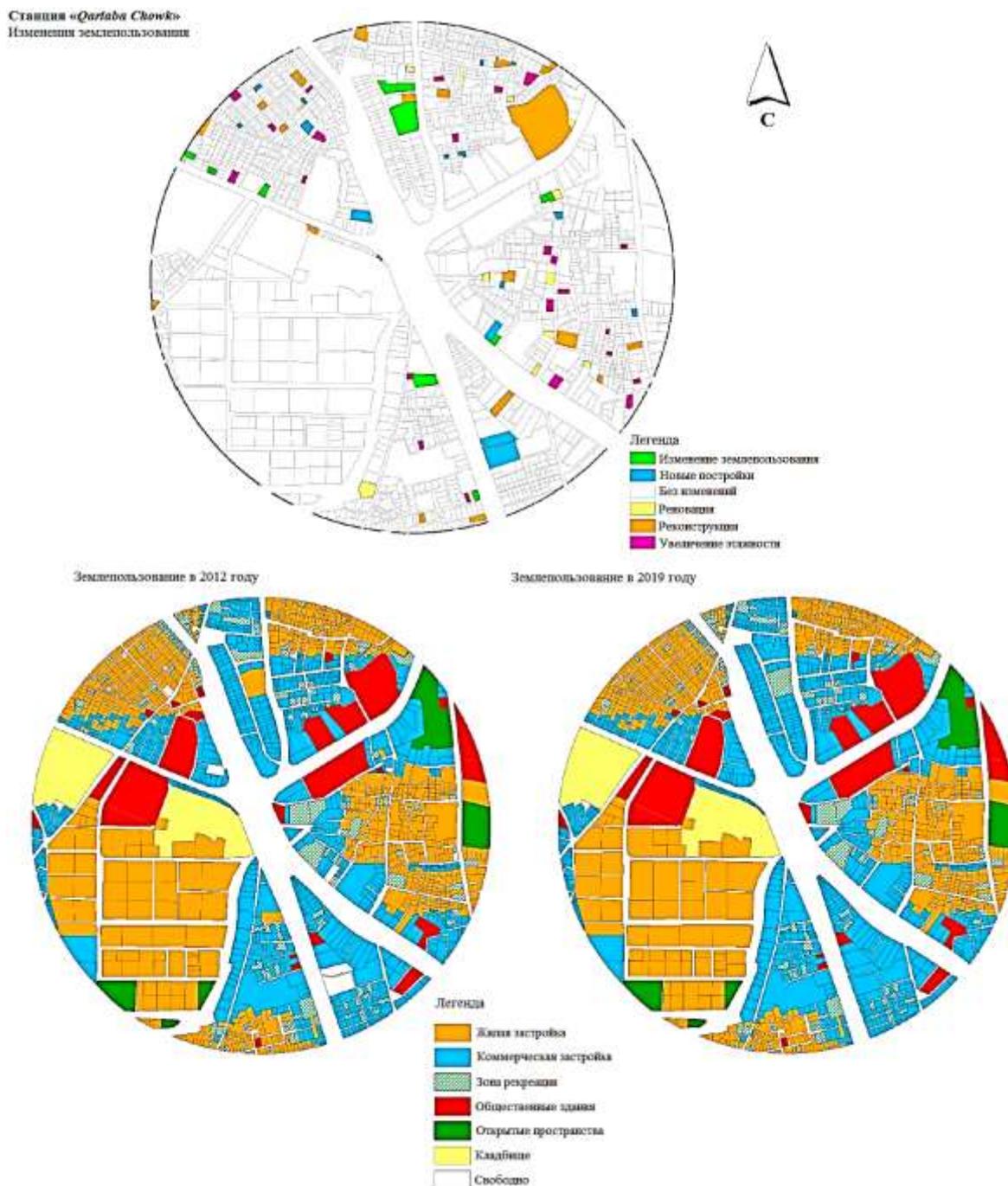


Рисунок 3 – Изменение землепользования близ станции САП «Qartaba Chowk» в Лахоре, Пакистан

Пространственный анализ показывает, что САП обладает потенциалом для моделирования изменения землепользования, однако степень трансформации зависит от контекста. Плотность населения увеличилась с 1,08 чел./км² до 1,21 чел./км². Помимо преобразований в области землепользования, приток инвестиций и расширение рынка труда также были очевидны в районах, обслуживаемых САП. Сумма внутренних инвестиций, почти равная 11,5 млрд рублей, была выявлена после внедрения САП, что в конечном итоге привело около 800 новых сотрудников из отдалённых районов. Эффективная политика в области устойчивого землепользования, рационализация данных преобразований и внутренние инвестиции могут принести пользу развитию компактных и устойчивых районов.

В исследовании [16] исследуется взаимосвязь между ГПТ и городским пространственным развитием путём анализа показателей рынка жилья, связанных с различными технологиями ГПТ.

Станция «Kalma Chowk»
Изменения землепользования

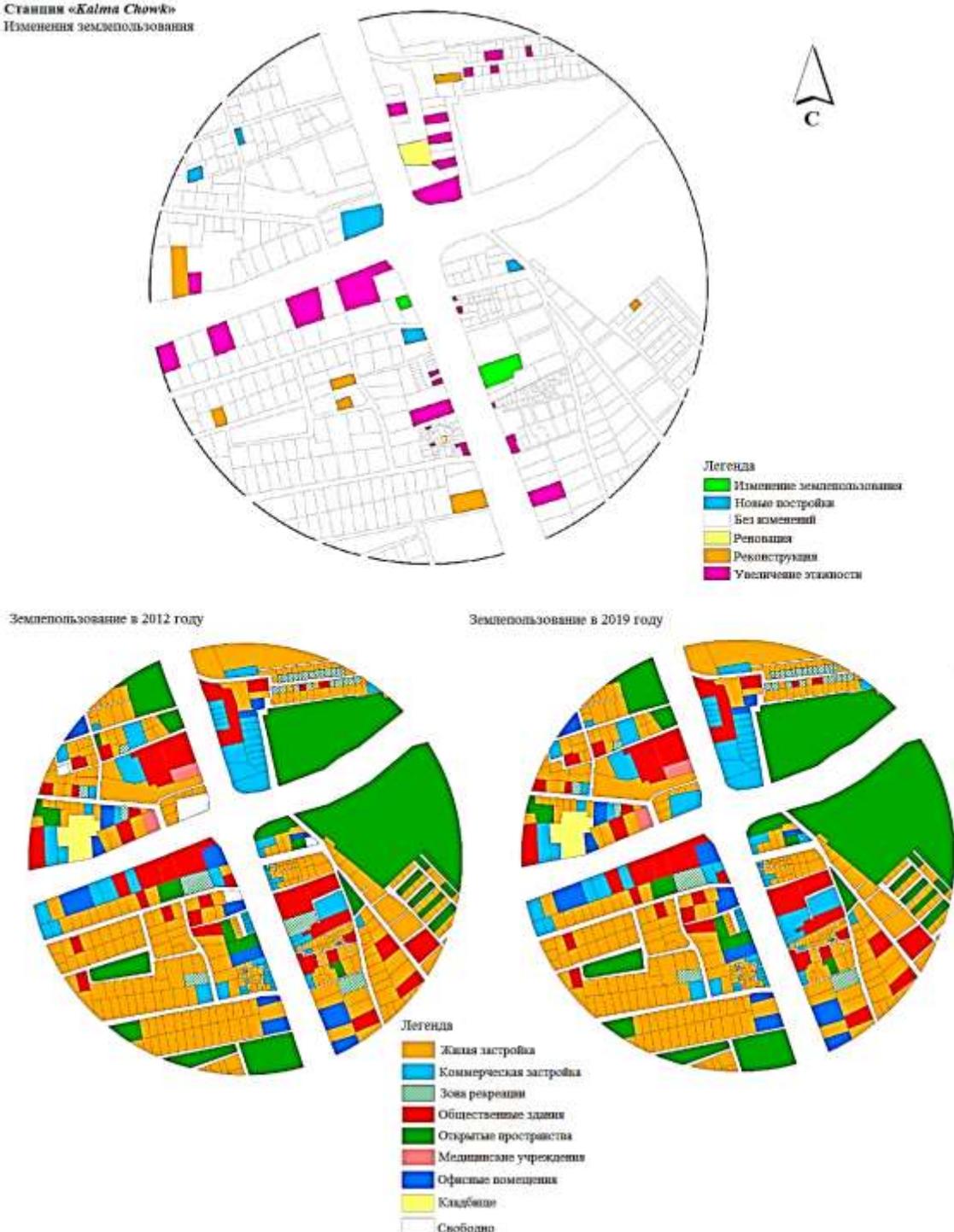


Рисунок 4 – Изменение землепользования близи станции САП «Kalma Chowk» в Лахоре, Пакистан

В исследовании рассматривается капитализация доступа общественного транспорта в стоимости недвижимости и сравниваются различия в преимуществах доступа к ГПТ между скоростным автобусным транспортом, легкорельсовым транспортом и железнодорожным транспортом (метрополитен). Выборка из 8601 корреспонденции продажи жилья в Пекине была использована для оценки моделей гедонистического ценообразования для региона и для сегментов рынка вдоль 11 линий САП.

В данном исследовании применяется метод моделирования гедонического ценообразования на примере Пекина. Указанный метод широко используется для измерения влияния ГПТ на цены на жильё, при этом контролируется влияние структурных и контекстуальных факторов на цену. Базовая модель может представить в виде формулы (1).

$$p_i = \alpha_0 + \sum_{k=1}^m \alpha_k \chi_{ki} + \beta d_i + \varepsilon_i, \quad (1)$$

где p_i – средняя цена i -й жилой единицы, руб./м² (или в логарифмическом выражении);
 χ_{ki} – k -й атрибут i -й жилой единицы;
 d_i – расстояние до ближайшей станции ГПТ, м;
 ε_i – случайная ошибка;
 $\alpha_0, \alpha_k, \beta$ – коэффициенты, подлежащие оценке.

Результаты показывают, что зона воздействия простирается на 1 км от станций метрополитена, но только на 0,5 км для легкорельсового транспорта. Для САП зона воздействия неразличима. В среднем, дома рядом с метро пользуются преимуществом за близость в размере 2920,13 руб./м² за каждые 100 м ближе к станции. Для легкорельсового транспорта преимущество составляет 1301,95 руб. Таким образом, можно сделать вывод о том, что при разграничении транзитных районов следует принимать во внимание технологические особенности ГПТ. При выборе транспортных технологий следует учитывать потенциал будущего развития или перепланировки в дополнение к капитальным затратам, особенно когда города или регионы находятся в середине процесса урбанизации и пространственного роста. Тем не менее, контекст развития по-прежнему имеет решающее значение для реализации и максимизации преимуществ доступа независимо от вида ГПТ (САП, легкорельсовый транспорт или метрополитен) [17].

Результаты и обсуждение

Основные исследовательские гипотезы, обозначенные в работе [2], были в значительной степени подтверждены эмпирическими результатами. Существенное обновление услуг САП в Сеуле – в виде добавления более 70 км выделенных автобусных коридоров с осевым размещением в 2004 году – почти удвоило скорость движения автобусов. Вследствие перенаселённости и ограниченности земельных ресурсов возросшая доступность побудила владельцев недвижимости и застройщиков активизировать землепользование вдоль коридоров САП, главным образом в форме преобразования частных резиденций в многоквартирные дома, квартиры и проекты смешанного назначения. Более того, рынки недвижимости извлекли выгоду из этих преимуществ доступности, особенно среди участков, используемых для кондоминиумов и жилых помещений с более высокой плотностью застройки. Для жилых домов в радиусе 300 метров от станции САП была оценена надбавка к цене земли в диапазоне 5-10 %. Для розничных магазинов и других нежилых помещений воздействие было более разнообразным, варьируясь в диапазоне 3-26 % в 150 метрах от ближайшей станции САП.

Для оценки факторов, влияющих на три преобразования (для нескольких семей, для смешанного использования и кондоминиумов) землепользования, использовались многоуровневые модели. Многоуровневое моделирование учитывает тот факт, что участки из одного и того же района имеют общие атрибуты, такие как местная улично-дорожная сеть и демографические характеристики. Данные многоуровневые модели включали как фиксированные, так и случайные эффекты. Фиксированные эффекты представляют собой переменные коэффициенты, которые постоянны для единиц верхнего уровня (т.е. окрестностей), в то время как случайные эффекты указывают на условия ошибки, которые варьируются для единиц верхнего уровня. Оценочные многоуровневые модели преобразования землепользования могут быть выражены формулой (2).

$$y_{ij} = \gamma_{00} + \beta_1 L_{ij} + \beta_2 S_{ij} + \beta_4 N_{ij} + \mu_{0j} + \varepsilon_{ij}, \quad (2)$$

где $y_{ij} = 1$, если частный i -й участок в j -м районе изменил использование (в противном случае 0);

γ_{00} – константа модели;

L_{ij} – вектор атрибутов местоположения (например, расстояние до автобусных остановок) i -го участка в j -м районе;

S_{ij} – вектор социально-демографических характеристик района (например, плотность населения, уровень образования) в j -м районе для i -го участка в этом районе;

N_{ij} – вектор землепользования района (например, доля земельных участков в розничной торговле) и государственных расходов (например, местный налог на домохозяйство) в j -м районе, который присваивается каждому i -му участку в районе;

$\mu_{0j}, \varepsilon_{ij}$ – условия остаточной ошибки уровня 2 и уровня 1 соответственно.

Наибольший интерес для исследования представляет влияние расстояния до автобусных остановок на преобразование землепользования. Участки в пределах 0,5 км от остановки (обычно связанные с пешей доступностью менее 5 минут), как правило, с большей вероятностью использовались для более интенсивного использования по сравнению с участками за пределами 0,5 км. Стоит отметить, что перестройка более дорогих домов в кондоминиумы и здания смешанного назначения на самом деле с меньшей вероятностью происходило в непосредственной близости от станции САП (т.е. менее чем в 100 м). Это может быть связано с эффектом расположения вблизи оживлённых станций САП и проезжей части. Однако много-семейные преобразования, казалось, были невосприимчивы к этим неприятным эффектам. За пределами буферного расстояния в 100 метров до остановки с большей вероятностью происходили преобразования для одной семьи. Примерно на расстоянии 400 метров влияние расстояния до автобусной остановки на преобразование землепользования в значительной степени исчезло [18].

Наличие измеримых надбавок к стоимости земли, предоставляемых САП, также создаёт возможности для увеличения доходов, в частности, для увеличения стоимости ГПТ. Поскольку САП является государственной инвестицией, которая приносит выгоду владельцам частной собственности, городская власть стремится вернуть часть добавленной стоимости в государственную казну, чтобы помочь финансировать капиталовложения и последующие операции [19]. Удорожание земли, вызванное САП, может быть частично восстановлено за счёт районного финансирования оценки выгод и совместных инициатив государственного и частного секторов в области развития. Предположительно, все стороны в сделках по совместному развитию видят выгоды от активизации застройки вблизи ГПТ, т. е. увеличения пассажиропотока для государственных операторов и повышения цен на землю и арендной платы для частных землевладельцев, что облегчает процесс заключения соглашений о разделе доходов [20]. Другим следствием роста цен на землю является перемещение домохозяйств с более низкими доходами и другие потенциальные последствия неправильного распределения. Чтобы устранить такое неравенство, одним из возможных способов использования доходов, полученных от выплаты пособий владельцам недвижимости, является покрытие расходов на предоставление доступного жилья и магазинов перемещённым жителям и предпринимателям.

Выводы

1. Понимание типа застройки, которая может произойти вокруг станций САП, имеет решающее значение для планирования зон станций и определения того, как концепция транзитно-ориентированного проектирования (ТОП) вписывается в региональную стратегию роста. Концепция успешного городского развития должна предшествовать инвестициям в транспорт и направлять их, при этом планирование необходимо для создания подцентров вокруг пересадочных станций.

2. Системы САП необходимо внедрять в качестве проектов городского развития, интегрирующих землепользование и транспорт. Данные выводы относительно различий в застроенных районах на разном расстоянии от станций САП (текущих или будущих) также указывают на то, как эти воздействия распределяются по городу в отсутствие политики ТОП в зависимости от таких характеристик, как размер участка и региональная доступность.

3. Системы САП следует рассматривать как инструмент землепользования, который влияет на преобразование участков для других целей в результате их удалённости от станций САП. Одним из ключевых выводов стало положительное влияние системы САП на преобразование существующего землепользования в коммерческое. Изменения в землепользовании являются ключевым фактором увеличения стоимости земли и механизмов получения прибыли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михневич И.М., Попова О.В. Определение критериев целесообразности внедрения системы BRT (Bus Rapid Transit) // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – №3 (78). – Т. 3. – С. 68-75.
2. Certero R., Kang C. Bus rapid transit impacts on land uses and land values in Seoul, Korea // Transport Policy. – 2011. – №18. – V. 1. – P. 102-116.
3. Bocarejo J.P., Portilla I., Pérez M.A. Impact of Transmilenio on density, land use, and land value in Bogotá // Research in Transportation Economics. – 2012. – №40. – P. 78-86.
4. Certero R., Dai D. BRT TOD: Leveraging transit oriented development with bus rapid transit investments // Transport Policy. – 2014. – №36. – P. 127-138.
5. Suzuki H., Certero R., Luchi K. Transforming cities with transit: Transit and land-use integration for sustainable urban development // Washington, DC: World Bank. - 2013. – 205 p.
6. Nelson A.C., Ganning J. National Study of BRT development outcomes // Portland, OR: National Institute for Transportation and Communities, 2015. – 126 p.
7. Certero R., Guerra E., Al S. Beyond mobility: Planning cities for people and places. - Washington, DC: Island Press, 2017. – 278 p.
8. N. Fogarty, S. Srivastava, A. Gehrke [et al.] Downtowns, greenfields, and places in between: Promoting development near transit // Portland: Center for Transit-Oriented Development. - 2013. – 59 p.
9. Certero R., Landis J. Twenty years of the Bay Area rapid transit system: Land use and development impacts // Transportation Research. - Part A – Policy and Practice. – 1997. – №31. – P. 309-333.
10. Ratner K.A., Goetz A.R. The reshaping of land use and urban form in Denver through transit-oriented development // Cities. – 2013. – №30 – P. 31-46.
11. Dueker K., Bianco M. Light-rail-transit impacts in Portland: The first ten years // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. – 1999. – №1685. – P. 171-180.
12. Vergel-Tovar C.E., Camargo W. Urban development impacts of bus rapid transit in Colombia: Challenges and opportunities // Developing bus rapid transit. – 2019. – №11. – P. 192-213.
13. Vergel-Tovar C.E., Rodriguez D.A. Bus rapid transit impacts on land uses and development over time in Bogotá and Quito // The Journal of Transport and Land Use. – 2022. – №15. – V. 1. – P. 425-462.
14. Vergel-Tovar C.E., Rodriguez D.A. Bus Rapid Transit and Urban Development in Latin America // Land Lines. – 2013. – №25. – P. 14-20.
15. Basheer M.A., Boelens L., R. Van Der Bijl. Bus Rapid Transit System: A Study of Sustainable Land-Use Transformation, Urban Density and Economic Impacts // Sustainability. – 2020. – №12 (3376). – P. 1-22.
16. Zhang M., Meng X., Wang L. [et al.] Transit development shaping urbanization: Evidence from the housing market in Beijing // Habitat International. – 2014. – №44. – P. 545-554.
17. Zhang M., Yen B.T.N. The impact of bus rapid transit (BRT) on land and property values: A meta-analysis // Land Use Policy. – 2020. – №96. – P. 1-14.
18. Boarnet M., Chalermpong S. Highways, House Prices, and Urban Development: A Case Study of Toll Roads in Orange County, CA // Housing Policy Debate. – 2001. – №12. – V. 3. – P. 575-605.
19. Polzin S., Baltes M. Bus Rapid Transit: A Viable Alternative? // Journal of Public Transportation. – 2002. – №5. – V. 2 – P. 47-69.
20. Vuchic V. Bus Semirapid Transit Model Development and Evaluation // Journal of Public Transportation. – 2002. – №5. – V. 2 – P. 71-96.

Михневич Игорь Михайлович

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес: 196247, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кубинская, 60

Студент

E-mail: igormihnevich@mail.ru

I.M. MIKHNEVICH

COMPARISON OF METHODS FOR ASSESSING THE SUSTAINABLE URBAN DEVELOPMENT AFTER THE IMPLEMENTATION OF BUS RAPID TRANSIT SYSTEMS (BRTS)

***Abstract.** According to the 2030 Agenda for Sustainable Development, adopted by all Member States of the United Nations, one of the goals of sustainable development is the desire to «make cities and human settlements open, safe, viable and sustainable». This goal includes such concepts as «sustainable transport» and «sustainable cities and settlements». By developing environmentally*

safe passenger transport, the city ensures a high level of economic growth with the possibility of preserving the environment, contributing to the establishment of regional transport links. Modern research in the field of the impact of bus rapid transit systems (BRTS) on the sustainable urban development proves the possibility of joint development of passenger transport and adjacent urban areas, which allows achieving significant results in solving the problems of sustainable development.

Keywords: bus rapid transit, passenger transport, route network, transportation infrastructure, transportation system, transportation service

BIBLIOGRAPHY

1. Mikhnevich I.M., Popova O.V. Opredelenie kriteriev tselesoobraznosti vnedreniya sistemy BRT (Bus Rapid Transit) // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. - 2022. - №3 (78). - T. 3. - S. 68-75.
2. Cervero R., Kang C. Bus rapid transit impacts on land uses and land values in Seoul, Korea // Transport Policy. - 2011. - №18. - V. 1. - P. 102-116.
3. Bocarejo J.P., Portilla I., Prez M.A. Impact of Transmilenio on density, land use, and land value in Bogot? // Research in Transportation Economics. - 2012. - №40. - P. 78-86.
4. Cervero R., Dai D. BRT TOD: Leveraging transit oriented development with bus rapid transit investments // Transport Policy. - 2014. - №36. - P. 127-138.
5. Suzuki H., Cervero R., Luchi K. Transforming cities with transit: Transit and land-use integration for sustainable urban development // Washington, DC: World Bank. - 2013. - 205 p.
6. Nelson A.C., Ganning J. National Study of BRT development outcomes // Portland, OR: National Institute for Transportation and Communities, 2015. - 126 p.
7. Cervero R., Guerra E., Al S. Beyond mobility: Planning cities for people and places. - Washington, DC: Island Press, 2017. - 278 p.
8. N. Fogarty, S. Srivastava, A. Gehrke [et al.] Downtowns, greenfields, and places in between: Promoting development near transit // Portland: Center for Transit-Oriented Development. - 2013. - 59 p.
9. Cervero R., Landis J. Twenty years of the Bay Area rapid transit system: Land use and development impacts // Transportation Research. - Part A - Policy and Practice. - 1997. - №31. - P. 309-333.
10. Ratner K.A., Goetz A.R. The reshaping of land use and urban form in Denver through transit-oriented development // Cities. - 2013. - №30 - P. 31-46.
11. Dueker K., Bianco M. Light-rail-transit impacts in Portland: The first ten years // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. - 1999. - №1685. - P. 171-180.
12. Vergel-Tovar C.E., Camargo W. Urban development impacts of bus rapid transit in Colombia: Challenges and opportunities // Developing bus rapid transit. - 2019. - №11. - P. 192-213.
13. Vergel-Tovar C.E., Rodriguez D.A. Bus rapid transit impacts on land uses and development over time in Bogot and Quito // The Journal of Transport and Land Use. - 2022. - №15. - V. 1. - P. 425-462.
14. Vergel-Tovar C.E., Rodriguez D.A. Bus Rapid Transit and Urban Development in Latin America // Land Lines. - 2013. - №25. - P. 14-20.
15. Basheer M.A., Boelens L., R. Van Der Bijl. Bus Rapid Transit System: A Study of Sustainable Land-Use Transformation, Urban Density and Economic Impacts // Sustainability. - 2020. - №12 (3376). - P. 1-22.
16. Zhang M., Meng X., Wang L. [et al.] Transit development shaping urbanization: Evidence from the housing market in Beijing // Habitat International. - 2014. - №44. - P. 545-554.
17. Zhang M., Yen B.T.N. The impact of bus rapid transit (BRT) on land and property values: A meta-analysis // Land Use Policy. - 2020. - №96. - P. 1-14.
18. Boarnet M., Chalermpong S. Highways, House Prices, and Urban Development: A Case Study of Toll Roads in Orange County, CA // Housing Policy Debate. - 2001. - №12. - V. 3. - P. 575-605.
19. Polzin S., Baltus M. Bus Rapid Transit: A Viable Alternative? // Journal of Public Transportation. - 2002. - №5. - V. 2 - P. 47-69.
20. Vuchic V. Bus Semirapid Transit Model Development and Evaluation // Journal of Public Transportation. - 2002. - №5. - V. 2 - P. 71-96.

Mikhnevich Igor Mikhailovich

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

Address: 196247, Russia, Saint Petersburg, Kubinskaya str. 60

Student

E-mail: igormihnevich@mail.ru

Уважаемые авторы!
Просим Вас ознакомиться с требованиями
к оформлению научных статей.

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

- Представляемый материал должен быть оригинальным (оригинальность не менее 70%), не опубликованным ранее в других печатных изданиях.
- объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах формата А4 и содержит от 4 до 9 страниц; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию;
- статья предоставляется в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе);
- в одном номере может быть опубликована только одна статья одного автора, включая соавторство;
- если статья возвращается автору на доработку, исправленный вариант следует прислать в редакцию повторно, приложив письмо с ответами на замечания. Доработанный вариант статьи рецензируется и рассматривается редакционной коллегией вновь. Датой представления материала считается дата поступления в редакцию окончательного варианта исправленной статьи;
- аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах, списки литературы будут находиться в свободном доступе на сайте соответствующего журнала и на сайте Российской научной электронной библиотеки - РУНЭБ (Российский индекс научного цитирования).

ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ

Научная статья, предоставляемая в журнал, должна иметь следующие **обязательные элементы**:

Введение

Укажите цели работы и предоставьте достаточный накопленный опыт, избегая подробного обзора литературы или обобщенных результатов.

Материал и методы

Предоставьте достаточно подробных сведений, чтобы можно было воспроизвести работу независимым исследователем. Методы, которые уже опубликованы, должны быть обобщены и указаны ссылкой. Если вы цитируете непосредственно из ранее опубликованного метода, используйте кавычки и также ссылаетесь на источник. Любые изменения существующих методов также должны быть описаны.

Теория / расчет

Раздел «Теория» должен продлить, а не повторять предысторию статьи, уже рассмотренную во введении, и заложить основу для дальнейшей работы. Напротив, раздел «Расчет» представляет собой практическое развитие с теоретической основы.

Результаты

Результаты должны быть четкими и краткими.

Обсуждение

Здесь необходимо рассмотреть значимость результатов работы, а не повторять их. Часто целесообразен комбинированный раздел «Результаты и обсуждение». Избегайте подробных цитат и обсуждений опубликованной литературы.

Выводы

Основные выводы исследования могут быть представлены в кратком разделе «Выводы», который может стоять отдельно или составлять подраздел раздела «Обсуждение» или «Результаты и обсуждение».

В тексте статьи **не рекомендуется**:

- применять обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
 - применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
 - применять произвольные словообразования;
 - применять сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими стандартами;
- Сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ НАУЧНОЙ СТАТЬИ

Статья должна быть набрана шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ - 1,25 см, правое поле - 2 см, левое поле - 2 см, поля внизу и сверху - 2 см.

Обязательные элементы:

- **заглавие** (на русском и английском языке) публикуемого материала - должно быть точным и ёмким; слова, входящие в заглавие, должны быть ясными сами по себе, а не только в контексте; следует избегать сложных синтаксических конструкций, новых словообразований и терминов, а также слов узкопрофессионального и местного значения;

- **аннотация** (на русском и английском языке) - описывает цели и задачи проведенного исследования, а также возможности его практического применения, указывает, что нового несет в себе материал; рекомендуемый средний объем - 500 печатных знаков;

- **ключевые слова** (на русском и английском языке) - это текстовые метки, по которым можно найти статью при поиске и определить предметную область текста; обычно их выбирают из текста публикуемого материала, достаточно 5-10 ключевых слов;

- **список литературы** должен содержать не менее 20-ти источников. В списке литературы количество источников, принадлежащих любому автору не должно превышать 30% от общего количества.

ПОСТРОЕНИЕ СТАТЬИ

- Индекс универсальной десятичной классификации (УДК) - сверху слева с абзацным отступом.
- С пропуском одной строки - выровненные по центру страницы, без абзацного отступа и набранные прописными буквами светлым шрифтом 12 pt инициалы и фамилии авторов (И.И. ИВАНОВ).

- С пропуском одной строки - название статьи, набранное без абзацного отступа прописными буквами полужирным шрифтом 14 pt и расположенное по центру страницы.
- С пропуском одной строки - краткая (не более 10 строк) аннотация, набранная с абзацного отступа курсивным шрифтом 10 pt на русском языке. С абзацного отступа - ключевые слова на русском языке.
- Текст статьи, набранный обычным шрифтом прямого начертания 12 pt, с абзацной строки, расположенный по ширине страницы.
- Список литературы, набранный обычным шрифтом прямого начертания 10 pt, помещается в конце статьи. Заголовок «СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ» набирается полужирным шрифтом 12 pt прописными буквами с выравниванием по центру.
- После списка литературы, с абзацного отступа, приводятся набранные обычным шрифтом 10 pt сведения об авторах (на русском языке) в такой последовательности:
Фамилия, имя, отчество (полужирный шрифт)
Учреждение или организация
Адрес
Ученая степень, ученое звание, должность
Электронная почта (обычный шрифт), не может повторяться у двух и более авторов
- С пропуском одной строки - выровненные по центру страницы, без абзацного отступа и набранные прописными буквами светлым шрифтом 12 pt инициалы и фамилии авторов (на английском языке).
- С пропуском одной строки - название статьи, набранное без абзацного отступа прописными буквами полужирным шрифтом 14 pt и расположенное по центру страницы (на английском языке).
- Краткая (не более 10 строк) аннотация, набранная с абзацного отступа курсивным шрифтом 10 pt, с абзацного отступа - ключевые слова (на английском языке).
- С абзацного отступа, приводятся набранные обычным шрифтом 10 pt сведения об авторах (на английском языке).

ТАБЛИЦЫ, РИСУНКИ, ФОРМУЛЫ

Все таблицы, рисунки и основные формулы, приведенные в тексте статьи, должны быть пронумерованы.

Формулы следует набирать в редакторе формул Microsoft Equation 3.0 с размерами: обычный шрифт - 12 pt, крупный индекс - 10 pt, мелкий индекс - 8 pt.

Формулы, внедренные как изображение, не допускаются!

Русские и греческие буквы, а также обозначения тригонометрических функций, набираются прямым шрифтом, латинские буквы - курсивом.

Формулы располагают по центру страницы и нумеруют (только те, на которые приводят ссылки); порядковый номер формулы обозначается арабскими цифрами в круглых скобках около правого поля страницы.

В формулах в качестве символов следует применять обозначения, установленные соответствующими стандартами. Описание начинается со слова «где» без двоеточия, без абзацного отступа; пояснение каждого символа дается с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формуле. Единицы измерения даются в соответствии с Международной системой единиц СИ.

Переносить формулы на следующую строку допускается только на знаках выполняемых операций, причем знак в начале следующей строки повторяют.

Пример оформления формулы в тексте

$$q_1 = (\alpha - 1)^2 \left(1 + \frac{1}{2\alpha}\right) / d, \quad (1)$$

где $\alpha = 1 + 2a/b$ - коэффициент концентрации напряжений;

$d = 2a$ - размер эллиптического отверстия вдоль опасного сечения.

Рисунки и другие иллюстрации (чертежи, графики, схемы, диаграммы, фотоснимки) следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые. Рисунки, число которых должно быть логически оправданным, представляются в виде отдельных файлов в формате *.eps (Encapsulated PostScript) или TIF размером не менее 300 dpi.

Если рисунок небольшого размера, желательно его обтекание текстом.

Подписи к рисункам (полужирный шрифт курсивного начертания 10 pt) выравнивают по центру страницы, в конце подписи точка не ставится, например:

Рисунок 1 - Текст подписи

Пояснительные данные набираются светлым шрифтом курсивного начертания 10 pt и ставят после наименования рисунка.

Таблицы должны сопровождаться ссылками в тексте.

Заголовки граф и строк таблицы пишутся с прописной буквы, а подзаголовки - со строчной, если они составляют одно предложение с заголовком, или с прописной буквы, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставятся. Текст внутри таблицы в зависимости от объема размещаемого материала может быть набран шрифтом меньшего кегля, но не менее 10 pt. Текст в столбцах располагают от левого края либо центрируют.

Слово «Таблица» размещается по левому краю, после него через тире располагается название таблицы, например: Таблица 1 - Текст названия

Если в конце страницы таблица прерывается и ее продолжение будет на следующей странице, нижнюю горизонтальную линию в первой части таблицы не проводят. При переносе части таблицы на другую страницу над ней пишут слово «Продолжение» и указывают номер таблицы: Пример: Продолжение таблицы 1

Нумерация граф таблицы арабскими цифрами необходима только в тех случаях, когда в тексте имеются ссылки на них, при делении таблицы на части, а также при переносе части таблицы на следующую страницу.

Адрес издателя:

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302026, Орловская обл., г. Орёл, ул. Комсомольская, 95
Тел.: (4862) 75-13-18
www.oreluniver.ru.
E-mail: info@oreluniver.ru

Адрес редакции:

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302030, Орловская обл., г. Орёл, ул. Московская, 77
Тел.+7 905 856 6556
www.oreluniver.ru.
E-mail: srmostu@mail.ru

Материалы статей печатаются в авторской редакции

Право использования произведений предоставлено авторами на основании
п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации

Технический редактор, корректор,
компьютерная верстка И.В. Акимочкина

Подписано в печать 11.09.2023 г.

Дата выхода в свет 28.09.2023 г.

Формат 70x108/16. Усл. печ. л. 9,0

Цена свободная. Тираж 500 экз.

Заказ № 210

Отпечатано с готового оригинал-макета
на полиграфической базе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95