

ISSN 2073-7432

# МИР ТРАНСПОРТА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 4 - 3(87) 2024

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

**№ 4-3(87) 2024**

# Мир транспорта и технологических машин

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

**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)**  
**Агуарев И.Е. д-р техн. наук, проф. (Россия)**  
**Басков В.Н. д-р техн. наук, проф. (Россия)**  
**Власов В.М. д-р техн. наук, проф. (Россия)**  
**Глаголев С.Н. д-р техн. наук, проф. (Россия)**  
**Демич М. д-р техн. наук, проф. (Сербия)**  
**Денисов А.С. д-р техн. наук, проф. (Россия)**  
**Евтиков С.А. д-р техн. наук, проф. (Россия)**  
**Жаковская Л. д-р. наук, проф. (Польша)**  
**Жанказиев С.В. д-р техн. наук, проф. (Россия)**  
**Захаров Н.С. д-р техн. наук, проф. (Россия)**  
**Зырянов В.В. д-р техн. наук, проф. (Россия)**  
**Маткеримов Т.Ы. д-р техн. наук, проф. (Кыргызстан)**  
**Прентковский О. д-р техн. наук, проф. (Литва)**  
**Прижильт П. д-р техн. наук, проф. (Чехия)**  
**Пугачев И.Н. д-р техн. наук, доц. (Россия)**  
**Пушкин А.Е. д-р техн. наук, проф. (Россия)**  
**Рассоха В.И. д-р техн. наук, проф. (Россия)**  
**Ременцов А.Н. д-р пед. наук, проф. (Россия)**  
**Ризаева Ю.Н. д-р техн. наук, доц. (Россия)**  
**Сарбаев В.И. д-р техн. наук, профессор (Россия)**  
**Трофименко Ю.В. д-р техн. наук, проф. (Россия)**  
**Трофимова Л.С. д-р техн. наук, доц. (Россия)**  
**Шарата А. д-р. наук, проф. (Польша)**

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

**Адрес редколлегии:**  
302030, Россия, Орловская обл., г. Орёл,  
ул. Московская, 77  
Тел. +79058566556  
<https://oreluniver.ru/science/journal/mtitm>  
E-mail: [srmostu@mail.ru](mailto: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.pressa-rf.ru](http://www.pressa-rf.ru) и [www.akc.ru](http://www.akc.ru)

© Составление. ОГУ имени И.С. Тургенева,  
2024

## Содержание

*Транспортные и транспортно-технологические системы страны,  
ее регионов и городов, организация производства на транспорте*

<b>И.В. Жилин Автосервисное предприятие как система массового обслуживания</b>	3
<b>В.Н. Басков, А.В. Игнатов Оценка процесса возникновения заторовых явлений</b>	11
<b>Г.В. Коваленко, И.А. Ядров Разработка системы адаптивной поддержки экипажа при принятии решений по обходу грозы</b>	20

## Управление процессами перевозок

<b>А.Н. Новиков, Е.В. Петрище, А.А. Кравченко, А.С. Трошин Анализ транспортно-обслуживания новых микрорайонов города Орла</b>	29
<b>А.В. Куликов Разработка модели транспортной сети мультимодальных перевозок пассажиров на примере г. Волгограда</b>	36

## Эксплуатация автомобильного транспорта

<b>С.В. Новиков, Н.А. Загородний, А.С. Семыкина, А.А. Конев Анализ резервов возможностей безразборных методов диагностирования состояния грузовых автомобилей</b>	45
<b>А.С. Гришин, В.И. Сарбаев, С. Джсованис Выбор рационального количества альтернатив запасных частей для автосервиса с использованием методов нечетких множеств</b>	55
<b>Н.В. Лобов, В.В. Афанасьев Выбор режимов испытания электродвигателей электромобиля в лабораторных условиях</b>	62
<b>А.В. Горин, И.В. Родичева, К.В. Васильев, К.В. Бондаренко Исследование процесса влияния смазочных материалов на прочность образцов, изготовленных методом 3D-печати</b>	68
<b>Г.А. Крылов, Н.В. Пожицких Определение нормы расхода запасных частей для планово-предупредительного ремонта подвижного состава автотранспортного предприятия</b>	75
<b>С.Н. Злобин, Е.В. Николаев Повышение тяговых свойств локомотивов</b>	81

## Интеллектуальные транспортные системы

<b>И.С. Митряев Аспекты эффективности интеллектуальных транспортных систем</b>	89
<b>О.В. Малихина Научные основы управления сложными транспортными системами</b>	96

## Логистические транспортные системы

<b>К.А. Бычкова, А.В. Подкопаев, О.Ю. Булатова, Ю.Н. Линник Аналитика первичных данных дорожно-транспортных происшествий как инструмент повышения эффективности функционирования транспортно-логистических систем</b>	104
<b>М.Ю. Карелина, Ю.Н. Линник, А.А. Акулов, Н.В. Соловьев Оптимизация логистической модели перевозок грузовыми транспортными средствами</b>	112
<b>В. Ядун, В. Цинвэнь, В.В. Зырянов, В.Ю. Линник Анализ влияния городской застройки на уровень выбросов автомобильного транспорта</b>	121
<b>О.В. Сторожева, С.В. Дорохин, А.А. Чепрасова Перспективы развития «зеленой логистики»</b>	127
<b>Н.С. Любимый, Б.С. Четвериков, И.В. Топилин, А.А. Феофилова Применение беспилотных авиационных систем в транспортно-логистическом комплексе региона</b>	134

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

Scientific and technical journal  
Published since 2003  
A quarterly review  
**№ 4-3(87) 2024**

# World of transport and technological machines

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

*Editor-in-Chief*  
**A.N. Novikov** Doc.Eng., Prof

*Associates Editor*  
**V.V. Vasileva** Can. Eng.  
**S.A. Rodimzev** Doc. Eng.

*Editorial Board:*  
**E.V. Ageev** Doc. Eng., Prof. (Russia)  
**I.E. Agureev** Doc. Eng., Prof. (Russia)  
**V.N. Baskov** Doc. Eng., Prof. (Russia)  
**V.M. Vlasov** Doc. Eng., Prof. (Russia)  
**S.N. Glagolev** Doc. Eng., Prof. (Russia)  
**M. Demic** Doc. Eng., Prof. (Serbia)  
**A.S. Denisov** Doc. Eng., Prof. (Russia)  
**S.A. Evtyukov** Doc. Eng., Prof. (Russia)  
**L. Źakowska** Ph.D., Doc. Sc., Prof. (Poland)  
**S.V. Zhanakaziev** Doc. Eng., Prof. (Russia)  
**N.S. Zaharov** Doc. Eng., Prof. (Russia)  
**V.V. Zyryanov** Doc. Eng., Prof. (Russia)  
**T.Y. Matkerimov** Doc. Eng., Prof. (Kyrgyzstan)  
**O. Prentkovskis** Doc. Eng., Prof. (Lithuania)  
**P. Pribyl** Doc. Eng., Prof. (Czech Republic)  
**I.N. Pugachev** Doc. Eng. (Russia)  
**A.E. Pushkarev** Doc. Eng., Prof. (Russia)  
**V.I. Rassoha** Doc. Eng., Prof. (Russia)  
**A.N. Rementsov** Doc. Edc., Prof. (Russia)  
**Yu.N. Rizaeva** Doc. Eng. (Russia)  
**V.I. Sarbaev** Doc. Eng., Prof. (Russia)  
**Yu.V. Trofimenko** Doc. Eng., Prof. (Russia)  
**L.S. Trofimova** Doc. Eng. (Russia)  
**A. Szarata** Ph.D., Doc. Sc., Prof. (Poland)

*Person in charge for publication:*  
**I.V. Akimochkina**

*Editorial Board Address:*  
302030, Russia, Orel, Orel Region,  
Moskovskaya str., 77  
Tel. +7 (905)8566556  
<https://oreluniver.ru/science/journal/mtitm>  
E-mail: [srmostu@mail.ru](mailto:srmostu@mail.ru)

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

Subscription index: 16376  
in a union catalog «The Press of Russia»  
on sites [www.pressa-rf.ru](http://www.pressa-rf.ru) [www.akc.ru](http://www.akc.ru)

© Registration. Orel State University, 2024

## Contents

*Transport and transport-technological systems of the country, its regions and cities, organization of production in transport*

<b>I.V. Zhilin</b> A car service company as a queuing system.....	3
<b>V.N. Baskov, A.V. Ignatov</b> Evaluation of the process of traffic jam phenomena occurrence.....	11
<b>G.V. Kovalenko, I.A. Yadrov</b> Intelligent adaptive flight crew decision support system for thunderstorm avoidance.....	20

### *Management of transportation processes*

<b>A.N. Novikov, E.V. Petrishche, A.A. Kravchenko, A.S. Troshin</b> Analysis of transport services for new neighborhoods of the city of Oryol.....	29
<b>A.V. Kulikov</b> Development of a model of a multimodal passenger transportation network, on the example of Volgograd.....	36

### *Operation of motor transport*

<b>S.V. Novikov, N.A. Zagorodny, A.S. Semykina, A.A. Konev</b> Analysis of reserves of possibilities of non-selective methods of diagnosing the condition of trucks.....	45
<b>A.S. Grishin, V.I. Sarbayev, S. Tzjovannissi</b> Selection of a rational quantity of alternatives for spare parts for car service using fuzzy set methods.....	55
<b>N.V. Lobov, V.V. Afanasyev</b> Selection of test modes for electric vehicle motors in laboratory conditions.....	62
<b>A.V. Gorin, I.V. Rodicheva, K.V. Vasiliev, K.V. Bondarenko</b> Study of the effect of lubricants on the strength of samples made by 3D printing.....	68
<b>G.A. Krylov, N.V. Pozhivilov</b> Determination of consumption rates of spare parts for scheduled preventive repair of fleet of a transit agency.....	75
<b>S.N. Zlobin, E.V. Nikolaev</b> Increasing the traction properties of locomotives.....	81

### *Intelligent transport systems*

<b>I.S. Mitryaev</b> Aspects of the efficiency of intelligent transport systems.....	89
<b>O.V. Malikhina</b> Scientific foundations of management of complex transport systems...	96

### *Logistic transport systems*

<b>K.A. Bychkova, A.V. Podkopaev, O.Y. Bulatova, Y.N. Linnik</b> Analysis of primary traffic accident data as a tool to improve the efficiency of transport and logistics systems.....	104
<b>M.Y. Karelina, Y.N. Linnik, A.A. Akulov, N.V. Soloviev</b> Optimisation of logistic model of freight transport by cargo vehicles.....	112
<b>V. Yadong, V. Jingwen, V. Zyryanov, V.Y. Linnik</b> Road transport in urban conditions emissions assessment.....	121
<b>O.V. Storozheva, S.V. Dorokhin, A.A. Cheprasova</b> Prospects for the development of «green logistics».....	127
<b>N.S. Lubimyi, B.S. Chetverikov, I.V. Topilin, A.A. Feofilova</b> Technological solution for processing soft parts of unmanned aircraft systems.....	134

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

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

Научная статья

УДК 629.3.083.4:519.8

doi:10.33979/2073-7432-2024-4-3(87)-3-10

И.В. ЖИЛИН

**АВТОСЕРВИСНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ КАК СИСТЕМА МАССОВОГО  
ОБСЛУЖИВАНИЯ**

*Аннотация.* Рассмотрено модельное представление автосервисных предприятий с позиции теории массового обслуживания. Определено наличие значимой составляющей, основанной на случайных процессах. Предложено использовать статистическое моделирование для исследования особенностей протеканий процессов функционирования автосервисного предприятия. Проведен анализ влияния различных параметров на показатели функционирования автосервисного предприятия.

**Ключевые слова:** автосервисное предприятие, математическая модель, система массового обслуживания, случайные процессы, GPSS

**Введение**

Целью работы является рассмотрения метода моделирования функционирования автосервисного предприятия как системы массового обслуживания (СМО).

Любая СМО характеризуется следующими структурными элементами и их особенностями.

На вход этой системы поступает поток заявок на выполнение необходимых работ по их обслуживанию. Этот поток имеет явно стохастические признаки, что выражается в случайном характере интервала времени между возникновением заявок.

Заявки, поступившие в СМО, обслуживаются с помощью канала (прибора, устройства, аппарата и т.п.). Время обслуживания является случайной величиной. СМО при этом может иметь разную структуру с точки зрения количества каналов, их универсальности или специализации и т.д.

Каналы обслуживания заявок могут находиться в двух состояниях: свободен и занят. Свободные состояния каналов образуют непроизводительные простоя. В случае занятости всех каналов СМО поступающие заявки не могут быть сразу обслужены. Тогда они либо отклоняются и пропадают для СМО, либо становятся в очередь (конечную или бесконечную) для ожидания.

Обслуженные заявки выходят из СМО, образуя поток обслуживания или выходной поток. Соответственно интервал времени между заявками в нем также является случайной величиной.

При исследовании процесса функционирования СМО решаются две задачи: анализа и синтеза. При анализе для заданной СМО определяются показатели ее функционирования, например, такие как пропускная способность, вероятность отказа в обслуживании, длина очереди и т.д. С другой стороны задачи синтеза позволяют определить необходимую структуру СМО для получения требуемых показателей эффективности.

Автосервисные предприятия вполне очевидно можно отнести к СМО. В роли заявок выступают автомобили клиентов, а каналы обслуживания – это посты универсальные или специализированные. Достаточно подробно особенности общие принципы рассмотрения автосервисного предприятия как СМО представлены в [1], [6], [7].

Рассматриваемая особенность функционирования автосервисных предприятий нашла отражение в ряде специальных научных работ.

Отмечается такая особенность большинства автосервисных предприятий как малое число постов (малое предприятие) и «эти предприятия являются специализированными по небольшой номенклатуре работ» [2].

Предполагается, что «ведущим параметром, определяющим уровень загрузки мощности, является средняя длина очереди автомобилей» [2].

«В этой связи предприятия стараются снизить нестационарность загрузки постов различными приемами, в том числе, и при помощи взаимопомощи исполнителей на постах. Наряду с этим, предприятия стараются влиять на входящий поток заявок путем налаживания коммуникации с постоянными клиентами за счет переноса заявок на более поздние сроки, а также привлечения дополнительного числа исполнителей в пиковые часы» [2].

«Для того чтобы предпринять какие-то конкретные шаги по реорганизации обслуживающей системы для улучшения качества ее функционирования, сначала следует изучить поток требований (с количественной оценкой), поступающих в эту систему, и определить требуемые математические методы» [3].

### ***Материал и методы***

В виду большого уровня стохастичности исследование функционирования СМО должно быть основано на методах теории вероятности и математической статистики. И здесь возможны два варианта.

Во-первых, это аналитические методы теории массового обслуживания, которые используются в работах [2, 3, 6]. Однако надо иметь ввиду, что эти методы хорошо работают в очень узком диапазоне условий, а именно при пуассоновских потоках. Это означает их однородность, стационарность и отсутствие последействия, а также экспоненциальном законе распределения времени между заявками в потоках. Последнее как раз мало соответствует реальности с точки зрения функционирования автосервисного предприятия. Однако даже с помощью аналитических методов могут быть получены результаты, показывающие общие тенденции изменений в функционировании автосервисного предприятия.

Во-вторых, это методы имитационного моделирования или методы Монте-Карло. С помощью этих методов моделируются случайные потоки и имитируется функционирование СМО. Причем здесь можно задать любые законы распределения случайных величин и любую логику работы СМО. Исходя из законов больших чисел моделирование должно основываться на большом числе событий. Поэтому наиболее приемлемым является компьютерное моделирование с помощью специально разработанных систем, таких как GPSS, AnyLogic.

### ***Теория / Расчет***

Эффективным способом исследования процессов функционирования автосервисных предприятий как СМО является имитационное моделирование.

Для создания модели вначале надо исследовать и описать логику работы предприятия, т.е. создать структурно-логическую модель, с указанием основных ее особенностей. Целью моделирования будет оценка эффективности работы проектируемого автосервисного предприятия.

Итак, будем рассматривать предприятие в виде станции технического обслуживания (СТО) автомобилей с пятью универсальными постами ТО и ремонта, которые образуют зону ТО и ремонта. На СТО также оборудованы шесть постов ожидания и хранения для автомобилей. На СТО также имеется зона уборочно-моечных работ (УМР) с одним постом для технологической мойки автомобиля. Всё это есть описание структуры рассматриваемого автосервисного предприятия.

Предприятие будет работать с одним выходным днем в неделю, т.е. 305 дней в году, по 12 часов в день. Процесс имитационного моделирования будет соответствовать периоду в один календарный год и время при моделировании будет рассматриваться в минутах. Поэтому длительность моделирования составляет  $305 \times 12 \times 60 = 219600$  мин.

На СТО поступает входной поток заявок, в котором время между заявками имеет

Гамма-распределение с параметрами 5 и 15 (рис. 1). Исходя из этого математическое ожидание составляет 75 мин, а дисперсия – 1125 мин<sup>2</sup>.

Во входном потоке заявок производится их разделение по степени сложности на четыре категории в соответствии с данными таблицы 1.

Таблица 1 – Распределение заявок по степени сложности

Категория	1	2	3	4
Вероятность (до)	0,6	0,8	0,93	1
Продолжительность обслуживания, мин	20...120	120...240	240...480	480...3600

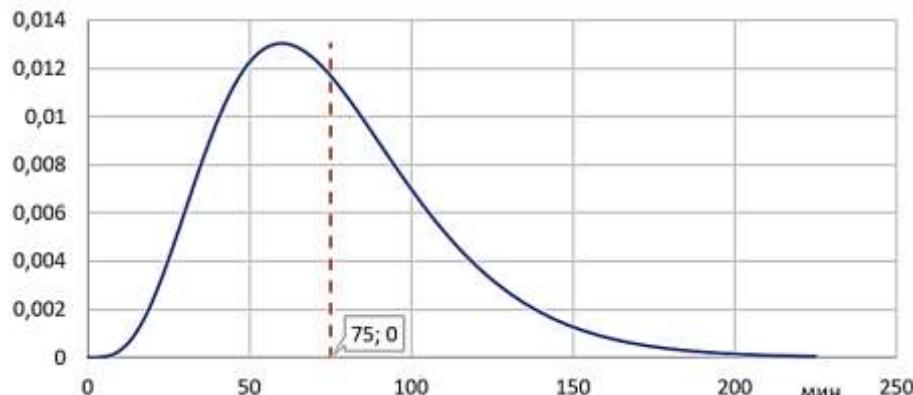


Рисунок 1 – Функция распределения входного потока заявок

При поступлении заявки она попадает на пост приемки. В результате осмотра автомобиля и беседы с владельцем приемщик делает заключение о недостатках технического состояния и предлагает варианты их устранения или отсутствии таковых. В 20 % случаев по различным причинам стороны не приходят к согласию, и заявка отклоняется (отказ).

Оставшиеся заявки являются потенциально обслуживаемыми. Часть из них (40 %) будет обслуживаться позднее по предварительной записи. Время задержки обслуживания составляет  $2400 \pm 1800$  мин. После истечения этого времени заявка в приоритетном порядке поступает в зону ТО и ремонта без ожидания в очереди или с небольшим ожиданием до момента освобождения первого из всех занятых постов.

Другая часть заявок (60 %) предполагается к обслуживанию без предварительной записи и поступает в зону ожидания. При этом если все места ожидания заняты, то заявка получает отказ и покидает СТО без обслуживания. Из зоны ожидания заявка с вероятностью 0,35 поступает непосредственно на пост ТО и ремонта. Если хотя бы один пост зоны ТО и ремонта свободен, то заявка переходит на него без ожидания. При этом освобождается место ожидания для следующей заявки.

Остальная часть заявок из зоны ожидания с вероятностью 0,65 поступает на пост УМР для технологической мойки, а затем на свободный пост ТО и ремонта. Время технологической мойки составляет  $15 \pm 5$  мин.

На постах ТО и ремонта производятся необходимые работы по обслуживанию заявки. Время работ соответствует данным таблицы 1.

После окончания обслуживания заявки она покидает пост и передается владельцу. При этом освобождается пост ТО и ремонта, и он становится готовым к приему новой заявки.

Моделирование функционирования автосервисного предприятия, описанного выше, производилось с помощью программы, написанной в среде GPSS World. Рассмотрим листинг программы по частям с указанием основных ее особенностей.

В первой части производится задание основных составных частей модели с указанием их параметров (рис. 2). Здесь также задаются величины, матрицы и таблицы, необходимые для работы модели и для сбора статистики, которой нет в стандартных отчетах. Блоком GENERATE генерируется поток транзактов, соответствующих заявкам на ТО и ремонт.

Далее идет часть программы, моделирующая работу приемки, ожидания и уборочно-моечных работ (рис. 3). Здесь и далее блоками GATE и TRANSFER обеспечивается логика работы модели СТО.

```
*****
* Модель работы СТО
* (время в мин)
*****
PRI      STORAGE 1          ; Накопитель зоны приемки с 1 постом
UMR      STORAGE 1          ; Накопитель зоны УМР с 1 постом
TOR      STORAGE 5          ; Накопитель зоны ТОиР с 5 постами
OCH      STORAGE 6          ; Накопитель для ожидания (очередь) с 6 местами
Katza   FUNCTION  RN1,D4
          0.6,Kat1/
          0.8,Kat2/
          0.93,Kat3/
          1,Kat4          ; Функция распределения входящих заявок по категории
TS       MATRIX ,20,1          ; Матрица для определения времени нахождения СТО в р
NZP      VARIABLE $STOR          ; Целочисленная переменная, соответствующая числу з
NZO      VARIABLE $SOCH          ; Целочисленная переменная, соответствующая числу з
INITIAL X$C0,0          ; Переменная C0=0, как отметка времени нового состояния
TRVR    TABLE M1,20,20,40          ; Таблица транзитного времени заявок
*****
GENERATE (Gamma(1,0,5,15)),,100000 ; Генерация транзакта (входящий поток заявок)
```

Рисунок 2 – Начальная часть программы

```
*****  
* Приемка *****  
ENTER PRI          ; Вход заявки в накопитель приемки  
ADVANCE 20,15        ; Обслуживание заявки на посту приемки  
LEAVE PRI          ; Освобождение поста приемки от обслуженной заявки  
TRANSFER 0.2,,Otk1        ; Переход по причине невозможности ТОиР для части заявки  
TRANSFER 0.6,,OJ1        ; Переход по причине отсутствия предварительной записи  
PRIORITY 1,BU          ; Установка приоритета 1 для заявки предварительной записи  
ADVANCE 2400,1800        ; Задержка времени обслуживания заявки по причине пр  
TRANSFER ,OJ2          ; Переход по причине отсутствия предварительной записи  
*****  
* Ожидание *****  
OJ1     GATE SNF OCH,OTK2        ; Если накопитель для ожидания не заполнен, то заявка  
OJ2     QUEUE TR          ; Время ожидания (отсечка начала)  
QUEUE TZ          ; Время в СТО (отсечка начала)  
MSAVEVALUE TS+, (V$NZP+V$NZO+1),1, (C1-X$C0) ; Сохранение времени нахождения системы в  
SAVEVALUE C0,C1          ; Сохранение начальной отсечки времени  
ENTER OCH          ; Вход в накопитель очереди  
GATE SNF TOR          ; Если накопитель СТО (посты) не заполнен, то заявка  
LEAVE OCH          ; Освобождение накопителя очереди от заявки  
DEPART TR          ; Время ожидания (отсечка конца)  
*****  
* УМР *****  
TRANSFER 0.35,,ZTOR        ; Переход при отсутствии необходимости УМР  
ENTER UMR          ; Вход заявки в накопитель зоны УМР  
ADVANCE 15,5          ; Обслуживание заявки на посту УМР  
LEAVE UMR          ; Освобождение накопителя УМР от заявки
```

Рисунок 3 – Средняя часть программы

В заключительной части программы имитируется работа зоны ТО и ремонта (рис. 4). Кроме того, в блоке GENERATE генерируется один транзакт, с длительностью равной продолжительности работы СТО в течение года.

### Результаты и обсуждение

В процессе работы модели были получены следующие результаты, соответствующие показателям функционирования автосервисного предприятия.

За год образовалась 2921 заявка. Из них 550 заявок было отклонено на самом первом этапе согласования работ при приемке. Оставшиеся 2371 заявки поступили на вход системы (СТО). Из них 934 оформили предварительную запись и были обслужены позднее без очереди. Из-за занятости всех постов и мест ожидания было отказано 47 обычным заявкам. Пост УМР прошли 1519 заявок.

В процессе всего времени работы автосервисное предприятие как система массового обслуживания находилась в разных состояниях (рис. 5). Нулевое состояние соответствует тому, что система полностью свободна, а заявок нет. От всего времени работы такое состояние составляет 8,7 %. Состояния от первого до пятого соответствуют числе занятых каналов из пяти. Наиболее частым является ситуация, когда заняты два поста из пяти (22,9 %). Состояния от шестого до одиннадцатого соответствуют сумме занятости всех постов (5) и ко-

личеству занятых мест ожидания (от 1 до 6). Так 2,4 % от всего времени системы находится в состоянии 11, соответствующей полной занятости всех постов и мест ожидания.

```
* ТОиР ****
ZTOR    ENTER TOR          ; Вход в зону ТОиР (пост)
QUEUE TS           ; Время обслуживания в зоне ТОиР (отсечка начала)
MSAVEVALUE TSS+, (VSNZP+VSNZO+1), 1, (C1-XSCO) ; Сохранение времени нахождения системы в с
SAVEVALUE C0,C1      ; Сохранение начальной отсечки времени
TRANSFER ,FN$KatZa  ; Переход к обслуживанию заявок в зависимости от кате
Kat1    ADVANCE (UNIFORM(1,20,120)) ; Обслуживание заявки первой категории на посту ТОиР
TRANSFER ,Osv        ; Переход к окончанию обслуживания
Kat2    ADVANCE (UNIFORM(2,120,240)) ; Обслуживание заявки второй категории на посту ТОиР
TRANSFER ,Osv        ; Переход к окончанию обслуживания
Kat3    ADVANCE (UNIFORM(3,240,480)) ; Обслуживание заявки третьей категории на посту ТОиР
TRANSFER ,Osv        ; Переход к окончанию обслуживания
Kat4    ADVANCE (UNIFORM(4,480,3600)) ; Обслуживание заявки четвертой категории на посту ТОиР
Osv     LEAVE TOR          ; Освобождение поста ТОиР от обслуженной заявки
DEPART TS           ; Время обслуживания в зоне ТОиР (отсечка конца)
DEPART TZ           ; Время в СТО (отсечка конца)
TABULATE TRVR      ; Занесение в таблицу транзитного времени обслуженной
TERMINATE          ; Удаление транзакта, соответствующего обслуженной за
OTK1    TERMINATE        ; Удаление транзакта, соответствующего отказанной за
OTK2    TERMINATE        ; Удаление транзакта, соответствующего отказанной за
*****
GENERATE 219600      ; Генерация транзакта, соответствующего общему времени
TERMINATE 1           ; Удаление заявки из модели (окончание работы модели)
*****
START 1
```

Рисунок 4 – Заключительная часть программы

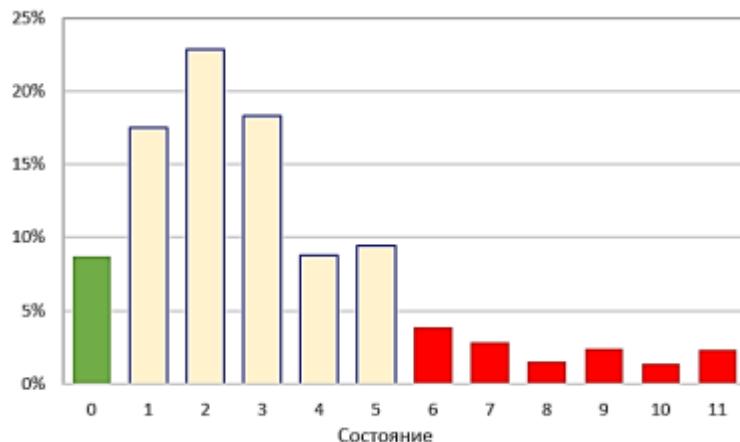


Рисунок 5 – Распределение состояний системы

Каждая заявка находится в системе разное время, а в целом время распределено так, как показано на рисунке 6. Среднее время составляет 1352,8 мин, а стандартное отклонение – 1486,7 мин. Как видно из графика (рис. 6) большая часть заявок (а их около 1100) имеют значение времени в системе от 0 до 500 мин. В этой группе примерно половина – это заявки, которым отказано в обслуживании на этапе приемки. Остальная часть заявок (около 1800) примерно равномерно распределены по оси времени. Последний высокий столбец является суммой частостей всех интервалов, лежащих правее.

Средняя занятость поста приемки составила 26,4 %, т.е. большую часть времени пост пропустывает. Еще хуже обстоят дела с постом УМР, где коэффициент его загрузки составил 10,3 %.

В очереди ожидания из 6 мест в среднем за все время заняты 0,548 мест, т.е. всего 9,1%. При этом из-за пикового возникновения заявок были моменты полной занятости этих мест, что явилось причиной отказу заявкам в обслуживании (47 заявок).

Рассмотрим один из основных технических показателей функционирования автосервисного предприятия, а именно коэффициент использования постов. В среднем его величина составила 0,614 при среднем количестве занятых постов 3,068 из 5.

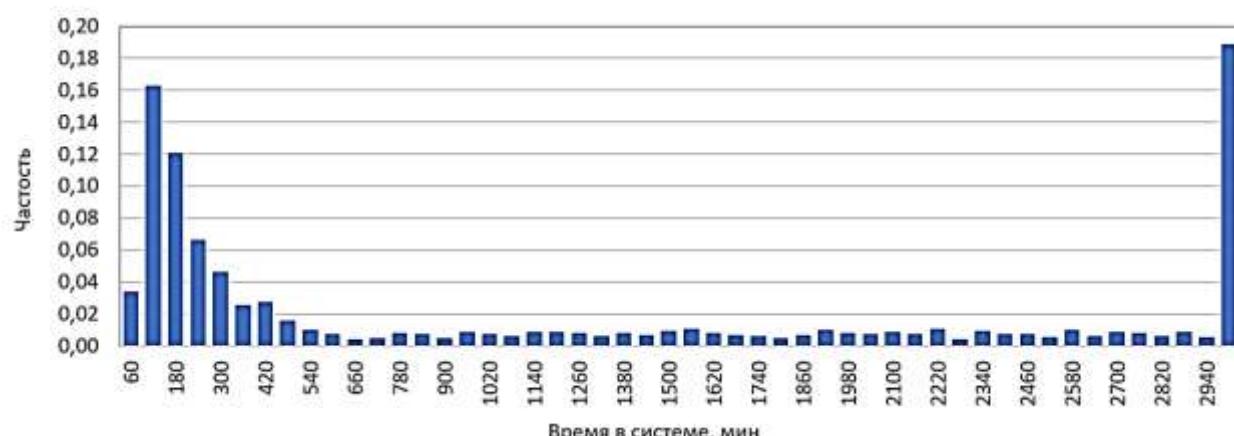


Рисунок 6 – Распределение времени нахождения заявки в системе

Теперь можно провести эксперимент и оценить влияние различного рода изменений на показатели эффективности функционирования автосервисного предприятия. За базовый примем рассмотренный выше вариант.

В базовом варианте коэффициент использования постов составлял 0,614, что достаточно мало. При этом среднее число занятых мест ожидания также мало. При исследовании было проанализировано, как изменения количества постов ТО и ремонта повлияет на эти показатели. Результаты анализа (рис. 7) однозначно показывают действенность уменьшения количества постов. При трех постах коэффициент их использования составляет 0,852 и приближается к приемлемым значениям. При этом наблюдается рост средней длины очереди. Из негативных результатов можно отметить существенное увеличение количества заявок, которым отказано по причине занятости всех мест ожидания до 309. А это потери клиентов.

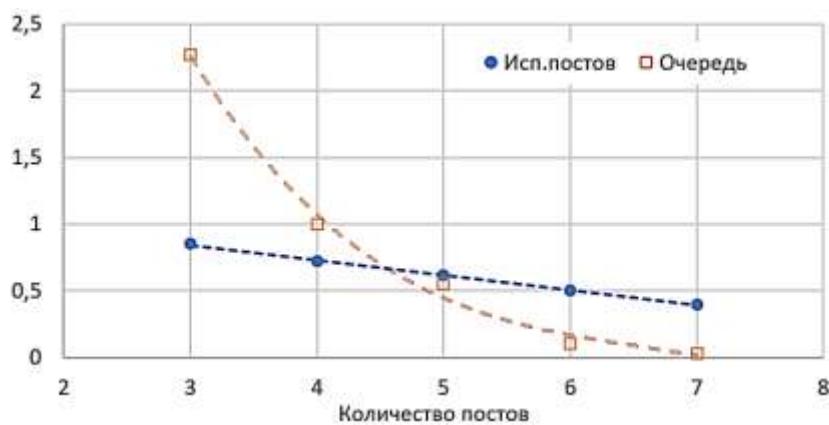
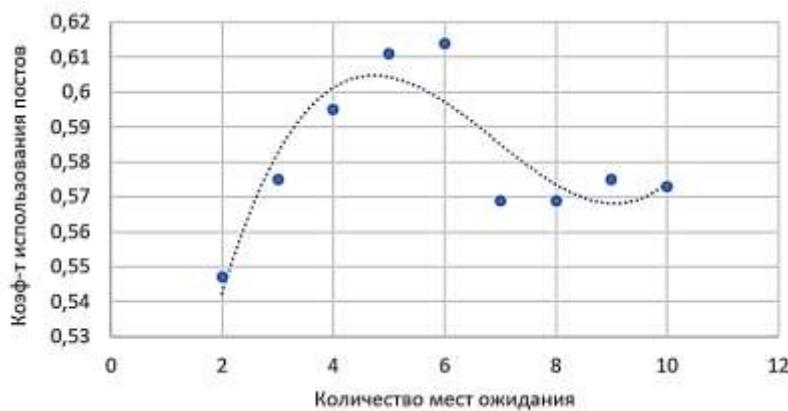


Рисунок 7 – Зависимость коэффициента использования постов и средней длины очереди от количества постов

Если убрать предварительную запись, то в зоне ТО и ремонта в среднем заняты 2,774 поста, а коэффициент использования постов составит уже 0,555.

Если же изменять количество мест для ожидания в очереди, то будет изменяться и коэффициент использования постов (рис. 8). Причем базовый вариант является оптимальным по этому показателю.



*Рисунок 8 – Зависимость коэффициента использования постов от количества мест ожидания*

### **Выводы**

Моделирование автосервисного предприятия как системы массового обслуживания с помощью специализированных систем (GPSS) позволяет составить компактную модель, поскольку здесь программирование производится блоками, каждый из которых является макропрограммой с большими функциональными возможностями.

Из-за случайного характера процессов в системе всегда будут возникать очереди, отказы и простой.

В базовом варианте автосервисного предприятия хорошо заметна структурная несбалансированность и низкий уровень показателей эффективности. Моделирование автосервисного предприятия рассмотренным в настоящей работе методом позволяет анализировать различные ситуации и рационализировать его функционирование.

Показатели функционирования автосервисного предприятия с изменением структурных параметров меняются разнонаправленно. Поэтому актуальным является вопрос формирования показателя оптимальности.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Аксенов К.А., Попов А.В. Использование теории систем массового обслуживания в информационной системе оптимизации процессов логистики в автомобильном бизнесе [Электронный ресурс] // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. URL: <http://jurnal.org/articles/2008/inf10.html>.
2. Белов С.А., Тахтамышев Х.М., Гукетлев Ю.Х. Результаты моделирования показателей малых предприятий в конкурентной среде автосервиса как системы массового обслуживания [Электронный ресурс] / Вестник евразийской науки. 2021. Т. 13. №6. URL: <https://esj.today/PDF/01ECVN621.pdf>.
3. Гарькина И.А., Данилов А.М., Карев М.Н. Автосервис и перевозки с позиций теории систем массового обслуживания [Электронный ресурс] / Современные проблемы науки и образования. 2014. №4. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=14281>.
4. Жилин, И.В. Имитационное моделирование функционирования автосервисного предприятия // Вестник ЛГТУ. №2(40). 2019. Липецк: ЛГТУ. С. 51-58.
5. Жилин И.В., Матюхин Д.А. Особенности имитационного моделирования деятельности автосервисного предприятия как системы массового обслуживания // Вестник ЛГТУ №2(48). 2022. Липецк: ЛГТУ. С. 33-43.
6. Зайчикова Н.А., Суханкина Е.О. Моделирование работы автосервиса на основе теории систем массового обслуживания [Электронный ресурс] / NovaInfo. 2012. №8. URL: <https://novainfo.ru/article/1439>.
7. Соболев В.В., Мосейчук А.А. Автосервис с позиций теории систем массового обслуживания [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtoservis-s-pozitsii-teorii-sistem-massovogo-obsluzhivaniya>.
8. Тахтамышев Х.М., Этлухов О.А. Математические модели различных вариантов организации производственных процессов автосервисных предприятий в условиях умеренной конкуренции [Электронный ресурс] / Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». Т. 7. №5. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/201EVN515.pdf>.
9. Тахтамышев Х.М. Моделирование показателей автосервисных предприятий при различных уровнях конкуренции и возможных вариантах взаимопомощи исполнителей на постах ТО и ремонта автомобилей [Электронный ресурс] / Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. №4. С. 221-225. URL: <https://doi.org/10.12737/13929>.
10. Тимченко В.С. Структура имитационной модели автосервиса [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/struktura-imitatsionnoy-modeli-avtoservisa>.

**Жилин Игорь Викторович**

Липецкий государственный технический университет  
 Адрес: 398055, Россия, г. Липецк, ул. Московская, д. 30  
 К.т.н., доцент кафедры управления автотранспортом  
 E-mail: zhilin\_iv@stu.lipetsk.ru

I.V. ZHILIN

## A CAR SERVICE COMPANY AS A QUEUING SYSTEM

*Abstract. The model representation of car service companies from the standpoint of the theory of queuing is considered. The presence of a significant component based on random processes has been determined. It is proposed to use statistical modeling to study the features of the processes of functioning of a car service company. The analysis of the influence of various parameters on the performance indicators of a car service company is carried out.*

**Keywords:** car service company, mathematical model, queuing system, random processes, GPSS

## BIBLIOGRAPHY

1. Aksenov K.A., Popov A.V. Ispol'zovanie teorii sistem massovogo obsluzhivaniya v informatsionnoy sisteme optimizatsii protsessov logistiki v avtomobil'nom biznese [Elektronnyy resurs] // ZHurnal nauchnykh publikatsiy aspirantov i doktorantov. URL: <http://jurnal.org/articles/2008/inf10.html>.
2. Belov S.A., Takhtamyshev H.M., Guketlev YU.H. Rezul'taty modelirovaniya pokazateley malykh predpriyatiy v konkurentnoy srede avtoservisa kak sistemy massovogo obsluzhivaniya [Elektronnyy resurs] / Vestnik evraziyskoy nauki. 2021. T. 13. №6. URL: <https://esj.today/PDF/01ECVN621.pdf>.
3. Gar'kina I.A., Danilov A.M., Karev M.N. Avtoservis i perevozki s pozitsiy teorii sistem massovogo obsluzhivaniya [Elektronnyy resurs] / Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2014. №4. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=14281>.
4. ZHilin, I.V. Imitatsionnoe modelirovaniye funktsionirovaniya avtoservisnogo predpriyatiya // Vestnik LGTU. №2(40). 2019. Lipetsk: LGTU. S. 51-58.
5. ZHilin I.V., Matyukhin D.A. Osobennosti imitatsionnogo modelirovaniya deyatel'nosti avtoservisnogo predpriyatiya kak sistemy massovogo obsluzhivaniya // Vestnik LGTU №2(48). 2022. Lipetsk: LGTU. S. 33-43.
6. Zaychikova N.A., Sukhankina E.O. Modelirovaniye raboty avtoservisa na osnove teorii sistem massovogo obsluzhivaniya [Elektronnyy resurs] / NovaInfo. 2012. №8. URL: <https://novainfo.ru/article/1439>.
7. Sobolev V.V., Moseychuk A.A. Avtoservis s pozitsii teorii sistem massovogo obsluzhivaniya [Elektronnyy resurs]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtoservis-s-pozitsii-teorii-sistem-massovogo-obsluzhivaniya>.
8. Takhtamyshev H.M., Etlukhov O.A. Matematicheskie modeli razlichnykh variantov organizatsii proizvodstvennykh protsessov avtoservisnykh predpriyatiy v usloviyakh umerennoy konkurentstvi [Elektronnyy resurs] / Internet-zhurnal «NAUKOVEDENIE». T. 7. №5. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/201EVN515.pdf>.
9. Takhtamyshev H.M. Modelirovaniye pokazateley avtoservisnykh predpriyatiy pri razlichnykh urovnyakh konkurentstvi i vozmozhnykh variantakh vzaimopomoshchi ispolniteley na postakh TO i remonta avtomobiley [Elektronnyy resurs] / Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. 2015. №4. S. 221-225. URL: <https://doi.org/10.12737/13929>.
10. Timchenko V.S. Struktura imitatsionnoy modeli avtoservisa [Elektronnyy resurs]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/struktura-imitatsionnoy-modeli-avtoservisa>.

**Zhilin Igor Victorovich**

Lipetsk State Technical University  
 Адрес: 398055, Russia, Lipetsk, st. Moscow, 30  
 Candidate of Technical Sciences  
 E-mail: zhilin\_iv@stu.lipetsk.ru

Научная статья

УДК 656.11

doi:10.33979/2073-7432-2024-4-3(87)-11-19

В.Н. БАСКОВ, А.В. ИГНАТОВ

## ОЦЕНКА ПРОЦЕССА ВОЗНИКОВЕНИЯ ЗАТОРОВЫХ ЯВЛЕНИЙ

**Аннотация.** В статье описано понятие транспортного затора и основные причины его возникновения. Рассмотрен термин транспортная конгестия. Представлен расчет динамического показателя ТП, характеризующего его напряженность. Отмечены особенности использования модели следования за лидером с учетом времени реакции водителя. Представлена характеристика уровней обслуживания движения с расчетом соответствующих коэффициентов. Рассмотрены различные математические модели описания ТП. Представлена трехфазная теория Кернера. Сделан вывод о необходимости комплексного подхода изучения особенностей формирования транспортного затора с учетом влияния элементов системы ВАДС.

**Ключевые слова:** транспортный поток, транспортный затор, транспортная конгестия, напряженность, пропускная способность, помехонасыщенность, синхронизированный поток

### **Введение**

Рост уровня автомобилизации сегодня приводит к транспортным проблемам во всем мире. Жители населенных пунктов повышают свою транспортную подвижность за счет эксплуатации личных автомобилей. Активно осуществляется сообщение между территорией города и пригородными зонами, что в ряде случаев обуславливает формирование мегаполисов. Следовательно улично-дорожная сеть (УДС) города и пригорода начинает составлять единую систему, которой присущи соответствующие проблемы. Увеличение количества транспортных средств (ТС) на дорогах влечет за собой процесс повышения плотности транспортного потока (ТП), что является причиной усложнения способов организации дорожного движения (ОДД) с целью минимизации негативных последствий роста автомобилизации, а именно: возникновения дорожно-транспортных происшествий (ДТП), повышения стоимости транспортировки, загрязнения окружающей среды и т.д. [1].

Немаловажным последствием увеличения числа ТС и объема перевозок является повышение риска возникновения транспортных заторов на УДС. Подобное явление приводит к снижению скорости сообщения, повышению времени транспортировки, перерасходу топлива, увеличению скорости износа узлов и агрегатов ТС. Развитие УДС не успевает за увеличением транспортной подвижности населения и ежегодным приростом количества эксплуатируемых ТС, что приводит к исчерпанию пропускной способности участков дороги, а следовательно, и к возникновению транспортных заторов на них. Вопросам причин и процесса формирования транспортного затора, а также способов минимизации этого явления посвящены следующие исследования [2-10].

### **Материал и методы**

На сегодняшний момент строгого понятия термина «транспортный затор» не существует. Различные авторы по-разному трактуют это понятие. Это обусловлено неопределенностью критериев этого явления [11, 12]. Наиболее распространное определение этого термина заключается в том, что под транспортным затором понимается задержка ТС, вызванная недостаточной пропускной способностью участка УДС относительно количества автомобилей на нем. Т.е. ТП переходит в заторовое состояние, когда объем входящего потока на участок УДС больше, чем объем выходящего потока. С увеличением уровня плотности ТП до максимально возможных значений скорость движения ТП может упасть до нулевого значения. Отсюда в ряде источников существует второе определение транспортного затора, представляющего собой ТП, находящийся в статичном состоянии, т.е. при нулевой скорости

движения. Однако второе определение сложно принимать к использованию, т.к. исходя из его формулировки получается, что состояние ТП при любой скорости движения выше нуля перестает классифицироваться, как транспортный затор. Первое определение больше подходит реальным условиям, однако оно не подкреплено численными значениями. Таким образом, возникает необходимость уточнения термина «транспортный затор».

К причинам, формирующем транспортный затор относится в первую очередь несоответствие геометрических параметров УДС текущему уровню ТП на ней, что в сочетании с сопутствующими факторами приводит ТП к неустойчивому состоянию. Немаловажное значение также имеют выбранные способы ОДД, весогабаритные параметры ТС, состав ТП, культура вождения и профессиональный уровень водителей, климатические условия и т.д.

Основываясь на положениях теории автоматического управления, процесс перехода неустойчивого процесса к устойчивому в установленном режиме при условии наличия множества оказывающих влияние факторов, происходит за счет замкнутой системы регулирования. В отношении движения ТП на дороге это означает необходимость контроля плотности потока и его регулирования сообразно пропускной способности отдельных участков УДС.

Установлено, что повышенная частота изменения характеристик ТП (неустойчивый характер движения) приводит к неэффективному использованию эффективной площади проезжей части и повышению требований к способам ОДД. Несоответствие уровня развития УДС относительно текущего состояния ТП является причиной возникновения транспортного затора. В зарубежной литературе для таких ситуаций используют термин – **конгестия** [13].

С увеличением количества ТС на УДС и транспортной подвижности населения возникло новое состояние – **транспортная конгестия** (Urban Traffic Congestion), т.е. переполнение УДС автомобилями и как следствие – возникновение транспортных заторов. Развитие УДС в большинстве случаев не соответствует текущему уровню автомобилизации, следовательно необходимо искать новые способы управления дорожным трафиком, заключающиеся в адаптации транспортного потока к текущим параметрам УДС. Т.к. ТП формируется системой «Водитель-Автомобиль-Дорога-Среда» (ВАДС), то для адаптации и управления транспортным потоком необходимо оценить влияние каждой из составляющих системы ВАДС на формирование транспортного затора (рис. 1).



Рисунок 1 – Факторы, влияющие на формирование транспортных заторов

### Теория / Расчет

Для успешного решения задач по управлению ТП требуется наличия зависимостей, устанавливающих взаимосвязь между параметрами, определяющими количественное и качественное состояние УДС и показателями, характеризующими условия формирования транспортных потоков. При этом вся совокупность параметров, определяющих качество УДС, делится на комплекс постоянных (сформированных при строительстве УДС) и комплекс динамических (возникающих в процессе эксплуатации УДС). Детальную классификацию этих показателей провести очень сложно так как постоянно меняющийся комплекс динамических показателей носит случайный характер. Поэтому целесообразно пойти по пути разработки интегральных показателей, характеризующих каждую из составляющих ВАДС. Одним из таких показателей может быть коэффициент помехоносыщенности УДС ( $K_{n,ydc}$ ), характеризующий уровень адаптации УДС к транспортному потоку. Вместе с тем, уровень адаптации ТП к УДС можно характеризовать статическими показателями [14]:

а) критерием загрузки УДС транспортным потоком

$$3 = \frac{N_{\text{фак}}}{N_{\text{max}}}, \quad (1)$$

где  $N_{\text{фак}}$  – фактическая интенсивность движения, авт/час;

$N_{\text{max}}$  – максимальная интенсивность движения, авт/час.

б) критерием насыщения ТП на УДС

$$H = \frac{Q_{\text{фак}}}{Q_{\text{max}}}, \quad (2)$$

где  $Q_{\text{фак}}$  – плотность движения, авт/км;

$Q_{\text{max}}$  – плотность движения, авт/км.

При этом весогабаритные параметры АТС напрямую влияют на максимальное значение плотности ТП, оценка которой может производится либо при помощи датчиков транспортного потока, либо при помощи аэрофотосъемки с беспилотного летательного аппарата (БПЛА).

Под динамическим показателем ТП ( $D_{mn}$ ), характеризующим **напряженность** потока, можно использовать временной параметр, затрачиваемый ТС на 1 км пути при установленной нормированной скорости его движения:

$$D_{\text{TP}} = \frac{S_{\text{TP}}}{V_{\text{TP},n}}, \quad (3)$$

где  $S_{mn}$  – путь, проходимый ТП, км;

$V_{\text{TP},n}$  – заданная нормированная скорость ТП, км/ч.

Для снижения **напряженности** ТП необходимо проводить мероприятия по ОДД (изменять режим работы светофорных объектов, устанавливать определенные скоростные ограничения на участках УДС, формировать пересечения ТП на разных уровнях и т.д.). Но при этом необходимо непрерывно мониторить фактическое время движения автомобилей в ТП (датчиками ТП в режиме реального времени) для фиксирования **напряженности**. Кроме того, уровень напряженности для водителя можно оценить по дистанции между автомобилями (модель следования за лидером) с учетом времени реакции водителя (рис. 2).

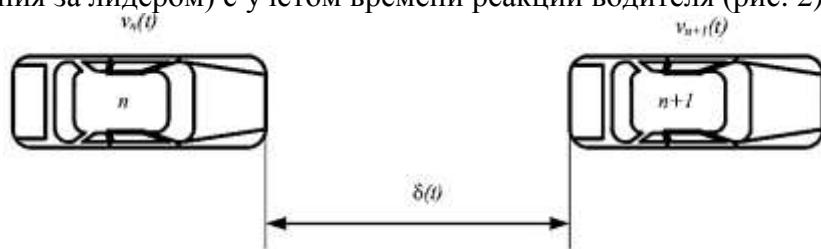


Рисунок 2 – Схема следования за лидером:  $n+1$  – лидер;  $n$  – ведомый;  $\delta(t)$  – дистанция [15]

Главной особенностью модели следования за лидером является тот факт, что ведомый водитель реагирует на разность скорости ведущего водителя (лидера), что является своего рода раздражением и может характеризовать **напряженность** работы водителя в ТП (рис. 3).

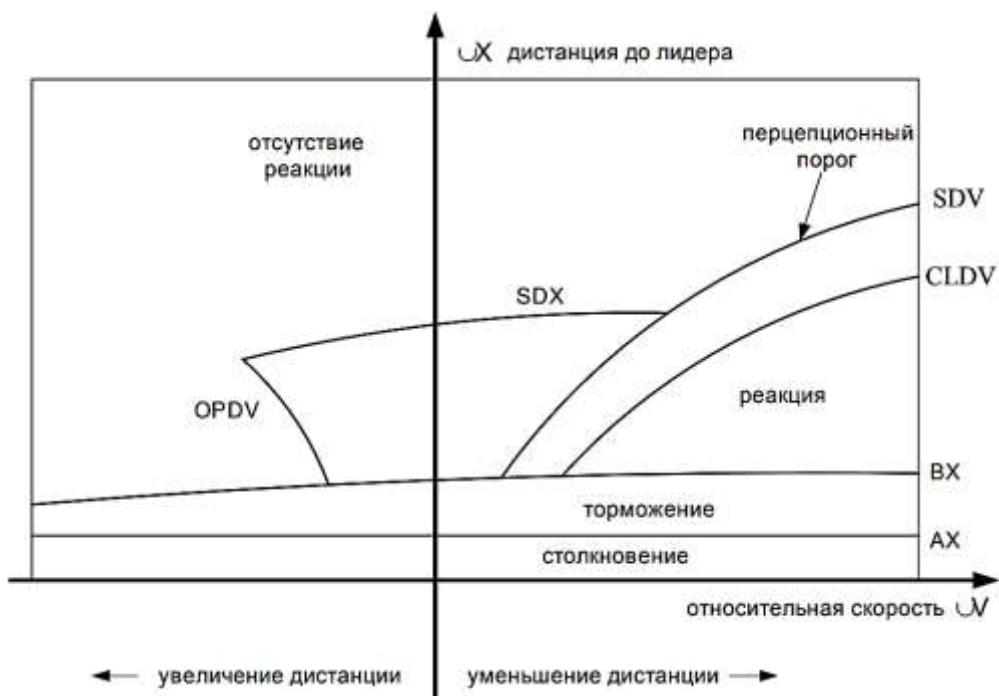


Рисунок 3 – График следования за лидером с учетом времени реакции водителя: AX - среднее желательное расстояние между остановившимися ТС; BX - дистанция безопасности; CLDV - порог осознания маленькой разницы в скорости на большом расстоянии; SDV - порог осознания разницы скорости на малом расстоянии; OPDV - порог осознания маленькой разницы в скоростях на малом уменьшающемся расстоянии; SDX - порог осознания, что расстояние увеличивается [15]

В реальных дорожных условиях исследователи фиксируют только физические показатели ТП (интенсивность, плотность и скорость) и их влияние на конгестию. При этом не учитывается влияние на работу транспортной системы социальных факторов – особенности городской инфраструктуры, транспортная подвижность населения, занятость, стоимость проезда и т.д. Более того, вообще не учитывается влияние показателей надежности и психофизиологических особенностей водителя на формирование режимов движения ТП и транспортной обстановки на УДС.

Принимая во внимание основное уравнение ТП ( $N=qV$ ) и модель следования за лидером выходит, что показатель  $N$  представляет собой обратную величину временного интервала между ТС. Следовательно, с увеличением  $N$  уменьшается дистанция между ТС и увеличивается показатель напряженности ( $D_{mn}$ ) в ТП. Также напряженность характеризует участок УДС, соответствующий одному ТС из потока, который равен длине участка УДС при  $N=1$  авт/час. Это в свою очередь напрямую связано с габаритными параметрами автомобилей при движении в однородном и неоднородном транспортном потоке. В этой ситуации особая роль отводится водителю (оператору АТС), задающему режим движения автомобиля и формирующему дорожно-транспортную ситуацию на УДС.

Для качественной оценки движения транспортного потока на УДС используют его состояние, которое условно называют уровнями обслуживания движения. В РФ с недавнего времени принята зарубежная классификация «А», «В», «С», «Д», «Е», «F». При этом кроме общепринятых параметров, характеризующий транспортный поток, используют следующие коэффициенты [16]:

а) коэффициент загрузки движением

$$z = \frac{N}{P}, \quad (4)$$

где  $N$  – интенсивность движения, авт/час;

$P$  – практическая пропускная способность участка УДС, авт./час.

б) коэффициент скорости движения

$$c = \frac{V_z}{V_0}, \quad (5)$$

где  $V_z$  – средняя скорость движения ТП, соответствующая определенному уровню обслуживания, км/ч;

$V_0$  – скорость движения ТП при уровне обслуживания «А», т.е. свободный поток, км/ч.

в) коэффициент насыщения движением

$$\rho = \frac{q_z}{q_{max}}, \quad (6)$$

где  $q_z$  – средняя плотность движения, авт/км;

$q_{max}$  – максимальная плотность движения, авт/км.

Уровни обслуживания движения характеризуют основные параметры ТП, включая безопасность дорожного движения. Характеристика уровней обслуживания представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика уровней обслуживания движения [16]

Уровень обслуживания движений	Коэффициент загрузки $z$	Коэффициент скорости движения $c$	Коэффициент насыщения движением $\rho$	Характеристика потока автомобилей	Состояние потока	Эмоциональная загрузка водителя	Удобство работы водителя	Экономическая эффективность работы дороги
A	<0,20	>0,90	<0,10	Автомобили движутся в свободных условиях, взаимодействие между автомобилями отсутствует	Свободное движение одиничных автомобилей с большой скоростью	Низкая	Удобно	Незэффективная
B	0,20-0,45	0,70-0,90	0,10-0,30	Автомобили движутся группами, совершается много обгонов.	Движение автомобилей малыми группами (2-5 шт.). Обгоны возможны	Нормальная	Мало удобно	Малоэффективная
C	0,45-0,70	0,55-0,70	0,30-0,07	В потоке еще существуют большие интервалы между автомобилями, обгоны запрещены	Движение автомобилей большими группами (5-14 шт.). Обгоны затруднены	Высокая	Неудобно	Эффективная
D	0,70-0,90	0,40-0,55	0,70-1,00	Сплошной поток автомобилей, движущихся с малыми скоростями	Колонное движение автомобилей с малой скоростью. Обгоны невозможны	Очень высокая	Очень неудобно	Незэффективная
E	0,90-1,00	<0,40	1,00	Поток движется с остановками, возникают затормозы, режим пропускной способности	Плотное	Очень высокая	Очень неудобно	Незэффективная
F	>1,00	0,30	1,00	Полная остановка движения, затормозы	Сверх плотное	Крайне высокая	Крайне неудобно	Незэффективная

### Результаты и обсуждение

Для описания заторовых явлений используются фундаментальная диаграмма ТП и разработанные математические модели ТП. С течением времени эти модели претерпевали изменения в сторону уточнения и усложнения в связи с необходимостью учета новых факторов, влияющих на движение ТП, а также новых способов, на которых основывались модели. Самыми распространенными моделями, описывающими физический смысл ТП являются гидродинамические. По масштабу описания модели ТП подразделяются на макро- и микроскопические. Использование микроскопических моделей направлено на весь ТП в целом, а на отдельных его участников и зачастую такой подход требует значительных вычислительных ресурсов.

Наиболее известны макроскопическая модель Лайтхилла-Уизема-Ричардса (LWR) и модель Танака. В дальнейшем были разработаны более усовершенствованные макроскопические модели.

Модель Уизема, которая учитывает «дальнозоркость» водителей, т.е. выбор скоростного режима зависит от плотности ТП.

Модель Пейна представляет собой усовершенствование модели LWR, в которой отражен обобщенный закон сохранения при отсутствии прямой зависимости между показателями  $V$  и  $q$ .

Модель Эйва-Раскла представляет собой усовершенствование модели Пейна.

Широко используются микроскопические модели: модель оптимальной скорости (модель Бандо) или модель следования за лидером Дженирал Моторс. Эти две модели были объединены в так называемую модель «разумного водителя» Трайбера.

Помимо рассмотренных моделей применяются мезомодели (кинетические модели), которые рассматривают ТП в целом без учета индивидуальных особенностей отдельных ТС, но с учетом общих закономерностей поведения водителей, например модель Пригожина-Больцмана, модель Пригожина-Хермана и модель Хелбинга.

Модель клеточных автоматов представляет собой один из вариантов микроскопических моделей, которая отличается главным образом дискретизацией пространства и времени. Причина их использования заключается в попытках найти причины нестабильного характера движения ТП, а также особенности формирования транспортных заторов.

На практике модели, описывающие характеристики ТП применяются в зависимости от цели и масштаба исследования. В таблице 2 отражено сравнение основных методов математического моделирования ТП.

Таблица 2 – Сравнение основных методов математического моделирования ТП [17]

Название группы моделей	Суть модели	Плюсы	Минусы	Особенности
<b>Макромодели</b>	Транспортный поток рассматривается как поток одномерной сжимаемой жидкости	Позволяет охватить большую часть дорожной сети, по сравнению с микромоделями	Высокая степень обобщения, например, смена полос или поворот, обычно не учитываются	Большинство моделей основывается на уравнениях классической гидродинамики
<b>Микромодели</b>	Моделируется поведение каждого автомобиля	Позволяет достичь более точного описания движения автомобилей	Требует больших вычислительных ресурсов при практическом применении, чувствительны к ошибкам	Учитывается связь автомобиля с автомобилями-«соседями», а также с элементами инфраструктуры дорожной сети
<b>Мезомодели</b>	Транспортный поток моделируется в целом, учитывая особенности поведения водителей	Позволяет охватывать большую территорию, учитывая особенности поведения водителя	Меньшая детализация по сравнению с микромоделями	Данные обновляются не каждый временной шаг, а только при изменении параметров сети или поведения автомобиля
<b>Клеточные автоматы</b>	Дискретизация пространства и времени	Высокая скорость и эффективность вычисления	Условность дискретизации пространства и времени	Самоорганизующаяся критичность, формирование спиральных образов, колеблющаяся или хаотическая последовательность состояний

Стоит отметить, что основная формула и фундаментальная диаграмма ТП отражает взаимосвязь только трех параметров. И рассматривает 2 стадии ТП: свободный и плотный. В связи с этим возникает необходимость объяснения процесса перехода между этими двумя

стадиями с обозначением, влияющих на этот процесс факторов системы ВАДС. Одной из попыток объяснения такого перехода является теория трех фаз Кернера. Эта теория основывается на описании пространственно-временной структуры ТП. Б. Кернер выделяет промежуточную фазу «синхронизированный поток», который характеризуется формированием

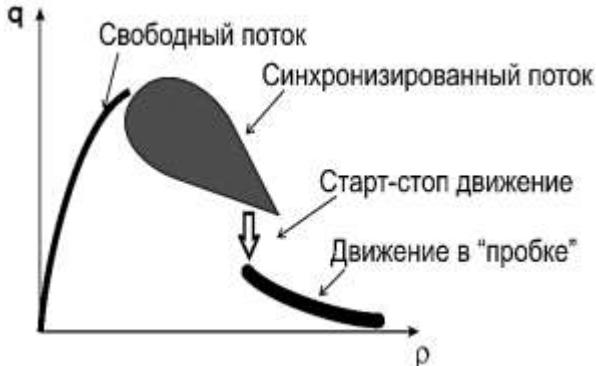


Рисунок 4 – Процесс перехода ТП в рамках трехфазной теории Кернера [18]

сывает процесс перехода состояния ТП от свободного потока к плотному с учетом промежуточной фазы (рис. 5).

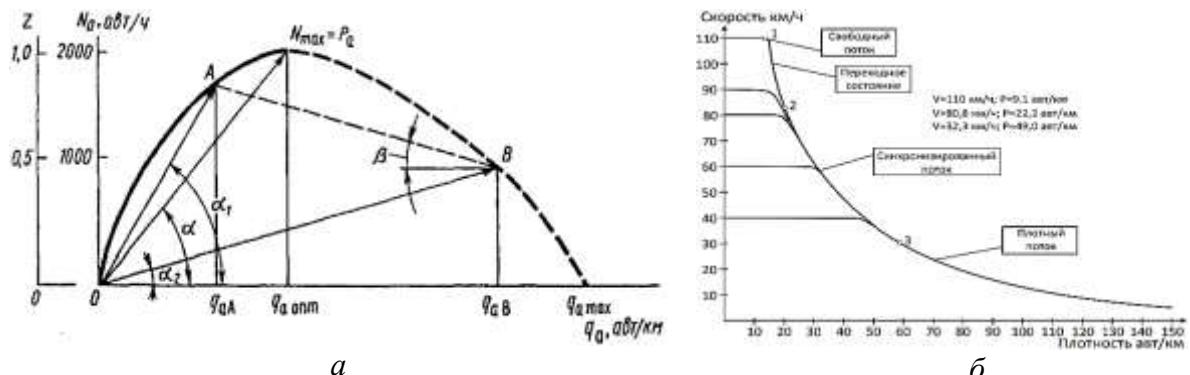


Рисунок 5 – Фундаментальная диаграмма ТП (а) и зависимость изменения скорости ТП от плотности в соответствии с теорией Кернера [15, 19]

### Выводы

Таким образом анализ процесса возникновения заторовых явлений показал, что для уменьшения вероятности возникновения транспортного затора необходимо использование комплексного подхода. Конечной причиной формирования транспортного затора является повышение плотности ТП, численное значение которой превышает пропускную способность участка УДС. Важно отметить, что на процесс повышения плотности ТП и снижения пропускной способности участков УДС влияет множество сопутствующих факторов из системы ВАДС, в т.ч. помехонасыщенность. Значительную роль при этом играют культура вождения, профессиональные качества и психофизиологическое состояние водителей. Человеческий фактор всегда носит случайный характер, как по времени, так и по интенсивности.

Причины снижения пропускной способности участка УДС подразделяются на конструктивные и случайные. Конструктивные причины возможно устранить изменением геометрических параметров УДС или корректировкой способов и режимов ОДД. Случайные факторы зачастую возникают в результате возникновения ДТП или нарушения Правил дорожного движения (ПДД). Единственным методом устранения случайных причин является повышение контроля за соблюдением ПДД, однако такой способ на практике не позволяет полностью их устраниТЬ.

Следовательно, под комплексным подходом будет пониматься учет основных факторов системы ВАДС, оказывающих влияние на повышение плотности ТП, неравномерный характер движения ТС, сокращение пропускной способности участков УДС.

клusterов ТС в составе ТП из-за неравномерного характера движения, вызванного в том числе так называемыми «узкими местами» на участках УДС. Б. Кернер выделяет следующие фазы:

- 1) свободный поток (F)
- 2) синхронизированный поток (S)
- 3) широкий движущийся кластер машин (J)

Графическое представление трехфазной теории Кернера отражено на рисунке 4.

Теория Б. Кернера в совокупности с фундаментальной диаграммой ТП хорошо описывает процесс перехода состояния ТП от свободного потока к плотному с учетом промежуточной фазы (рис. 5).

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Серова Е.Ю. Возможные пути повышения пропускной способности улично-дорожной сети // Инженерный вестник Дона. 2017. №1(44). С. 58.
2. Бояршинов М.Г., Вавилин А.С. Закономерности показателя транспортного затора на некоторых пересечениях улично-дорожной сети // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2024. №1. С. 95-115.
3. Аламир Хайдер Сагбан Хуссейн Х. С. Х., Заргарян Е.В., Заргарян Ю.А. Интеллектуальная система контроля заторов на дорогах с использованием контролируемого алгоритма машинного обучения на базе адаптивного IOTN // Известия ЮФУ. Технические науки. 2023. №2(232). С. 175-186.
4. Баните А.В., Деряга Д.С., Леоненко О.В. Совершенствование городской транспортной системы путем внедрения адаптивных систем управления дорожным движением // Автоматика на транспорте. 2021. Т. 7. №4. С. 565-583.
5. Параксеков А.В., Иваненко К.М. Перспективы экстенсивного развития городской транспортной инфраструктуры // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2019. №153. С. 33-51.
6. Лагерев Р.Ю., Зедгенизов А.В. Методика прогнозирования транспортных заторов на основе применения PLM-решений // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. №12(95). С. 165-171.
7. Славич В.П., Дербеденев А.В. Модель функціонування транспортного затору та визначення часу його подолання // Віоник ХНТУ. 2019. №2(69). С. 169-173.
8. Kumar P., Kumar S. V., Priya L. Smart and Safety Traffic System for the Vehicles on the Road, IoT with Smart Systems [Электронный ресурс] / Smart Innovation, Systems and Technologies, Springer, Singapore. Vol. 312. 2023. P. 509-522. URL: [https://doi.org/10.1007/978-981-19-3575-6\\_51](https://doi.org/10.1007/978-981-19-3575-6_51).
9. Sathiyaraj R., Bharathi A. An efficient intelligent traffic light control and deviation system for traffic congestion avoidance using multiagent system [Электронный ресурс] / Transport. Vol. 35. №3. 2020. P. 327-335. URL: <https://doi.org/10.3846/transport.2019.11115>.
10. Kim J., Tae D., Seok J. A survey of missing data imputation using generative adversarial networks // Proc. of the 2020 Int // Conf. on Artificial Intelligence in Information and Communication, ICAIIC. 2020. P. 454-456. DOI: 10.1109/ICAIIC48513.2020.9065044.
11. Андронов Р.В., Елькин Б.П., Гензе Д.А. Понятие затора и формирование очередей на регулируемом пересечении в условиях плотного транспортного потока // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. №1. С. 39-41.
12. Владимиров С.Н. Транспортные заторы в условиях мегаполиса // Известия МГТУ МАМИ. 2014. Т. 3. №1(19). С. 77-84.
13. Гук В.И. Урботрансконгестия или напряженность в дорожном движении в городах // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. 2019. Т. 2. №86. С. 24-30.
14. Михайлов А.Ю., Горбунов Р.Н., Горбунова З.В. Уровень обслуживания как показатель надёжности улично-дорожной сети // Мир транспорта. 2018. Т. 16. №4(77). С. 194-203.
15. Власов А.А. Теория транспортных потоков: монография. Пенза: Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2014. 123 с.
16. ОДМ 218.2.020-2012 Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог. М., 2012. 148 с.
17. Стрельников А.В. Обзор математических методов, описывающих движение транспортных потоков // Международный студенческий научный вестник. 2018. №3-4. С. 575-579.
18. Михеева Т.И., Михеев С.В. Модели управления транспортными потоками в условиях затора // Программные продукты и системы. 2012. №3. С. 15.
19. Богумил В.Н., Ефименко Д.Б. Экспериментальные исследования транспортных потоков с использованием навигационных данных (ГЛОНАСС/GPS) диспетчерских систем // Наука и техника в дорожной отрасли. 2011. №4(59). С. 3а-7.

**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 университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова

Адрес: 410056, Россия, г. Саратов, ул. Советская, 60.

К.т.н., доцент, доцент кафедры «Техническое обеспечение АПК»

E-mail: samoxod1990@yandex.ru

V.N. BASKOV, A.V. IGNATOV

**EVALUATION OF THE PROCESS OF TRAFFIC JAM PHENOMENA OCCURRENCE**

**Abstract.** The article describes the concept of transportation congestion and the main causes of its occurrence. The term transportation congestion is considered. Calculation of the dynamic index of traffic congestion characterizing its tension is presented. The peculiarities of using the model of following the leader taking into account the driver's reaction time are noted. Characterization of traffic service levels with calculation of corresponding coefficients is presented. Various mathematical models of TP description are considered. The three-phase Kerner theory is presented. The conclusion is made about the necessity of an integrated approach of studying the peculiarities of traffic jam formation taking into account the influence of the elements of the VADS system.

**Keywords:** traffic flow, traffic jam, traffic congestion, traffic congestion, tension, carrying capacity, interference saturation, synchronized flow

## BIBLIOGRAPHY

1. Serova E.YU. Vozmozhnye puti povysheniya propusknoy sposobnosti ulichno-dorozhnoy seti // Inzhe-nernyy vestnik Dona. 2017. №1(44). S. 58.
2. Boyarshinov M.G., Vavilin A.S. Zakonomernosti pokazatelya transportnogo zatora na nekotorykh perescheniyakh ulichno-dorozhnoy seti // Intellekt. Innovatsii. Investitsii. 2024. №1. S. 95-115.
3. Alamir Hayder Sagban Husseyin H. S. H., Zargaryan E.V., Zargaryan YU.A. Intellektual`naya sistema kontrolya zatorov na dorogakh s ispol`zovaniem kontroliruemogo algoritma mashinnogo obucheniya na baze adaptivnogo IOTN // Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki. 2023. №2(232). S. 175-186.
4. Banite A.V., Deryaga D.S., Leonenko O.V. Sovershenstvovanie gorodskoy transportnoy sistemy putem vnedreniya adaptivnykh sistem upravleniya dorozhnym dvizheniem // Avtomatika na transporte. 2021. T. 7. №4. S. 565-583.
5. Paraskevov A.V., Ivanenko K.M. Perspektivy ekstensivnogo razvitiya gorodskoy transportnoy infrastruktury // Politematicheskiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019. №153. S. 33-51.
6. Lagerev R.YU., Zedgenizov A.V. Metodika prognozirovaniya transportnykh zatorov na osnove prime-neniya PLM-resheniy // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2014. №12(95). S. 165-171.
7. Slavich V.P., Derbedenev A.V. Model` funktsyunuvannya transportnogo zatoru ta viznachennya chasu yogo podolannya // Vyunik HNTU. 2019. №2(69). S. 169-173.
8. Kumar P., Kumar S. V., Priya L. Smart and Safety Traffic System for the Vehicles on the Road, IoT with Smart Systems [Elektronnyy resurs] / Smart Innovation, Systems and Technologies, Springer, Singapore. Vol. 312. 2023. R. 509-522. URL: [https://doi.org/10.1007/978-981-19-3575-6\\_51](https://doi.org/10.1007/978-981-19-3575-6_51).
9. Sathiyaraj R., Bharathi A. An efficient intelligent traffic light control and deviation system for traffic con-gestion avoidance using multiagent system [Elektronnyy resurs] / Transport. Vol. 35. №3. 2020. P. 327-335. URL: <https://doi.org/10.3846/transport.2019.11115>.
10. Kim J., Tae D., Seok J. A survey of missing data imputation using generative adversarial networks // Proc. of the 2020 Int // Conf. on Artificial Intelligence in Information and Communication, ICAIIC. 2020. P. 454-456. DOI: 10.1109/ICAIIC48513.2020.9065044.
11. Andronov R.V., El`kin B.P., Genze D.A. Pomyatie zatora i formirovanie ocheredey na reguliruemom pereschenii v usloviyakh plotnogo transportnogo potoka // Nauchno-tehnicheskiy vestnik Povolzh`ya. 2015. №1. S. 39-41.
12. Vladimirov S.N. Transportnye zatory v usloviyakh megapolisa // Izvestiya MGTU MAMI. 2014. T. 3. №1(19). S. 77-84.
13. Guk V.I. Urbotranskongestiya ili napryazhennost` v dorozhnom dvizhenii v gorodakh // Vestnik Har`kovskogo natsional`nogo avtomobil`no-dorozhnoy universiteta. 2019. T. 2. №86. S. 24-30.
14. Mikhaylov A.YU., Gorbunov R.N., Gorbunova Z.V. Uroven` obsluzhivaniya kak pokazatel` radiozhnosti ulichno-dorozhnoy seti // Mír transporta. 2018. T. 16. №4(77). S. 194-203.
15. Vlasov A.A. Teoriya transportnykh potokov: monografiya. Penza: Penzenskiy gosudarstvennyy universitet arkhitektury i stroitel`stva, 2014. 123 s.
16. ODM 218.2.2020-2012 Metodicheskie rekomendatsii po otsenke propusknoy sposobnosti avtomobil`nykh dorog. M., 2012. 148 s.
17. Strel`nikov A.V. Obzor matematicheskikh metodov, opisyvayushchikh dvizheniya transportnykh potokov // Mezhdunarodnyy studencheskiy nauchnyy vestnik. 2018. №3-4. S. 575-579.
18. Mikheeva T.I., Mikheev S.V. Modeli upravleniya transportnymi potokami v usloviyakh zatora // Pro-grammnye produkty i sistemy. 2012. №3. S. 15.
19. Bogumil V.N., Efimenko D.B. Eksperimental`nye issledovaniya transportnykh potokov s ispol`zovaniem navigatsionnykh dannykh (GLONASS/GPS) dispetcherskikh sistem // Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrassli. 2011. №4(59). S. 3a-7.

**Baskov Vladimir Nikolaevich**

State Technical University of Saratov

Address: 410054, Russia, Saratov, Politehnicheskaya str.,

77

Doctor of Technical Sciences

E-mail: sedankin29@mail.ru

**Ignatov Anton Valeryevich**

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering

Address: 410056, Russia, Saratov, Sovetskaya str., 60

Candidate of Technical Sciences

E-mail: camoxod1990@yandex.ru

Научная статья

УДК 629.7.058

doi:10.33979/2073-7432-2024-4-3(87)-20-28

Г.В. КОВАЛЕНКО, И.А. ЯДРОВ

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АДАПТИВНОЙ ПОДДЕРЖКИ ЭКИПАЖА ПРИ ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ ПО ОБХОДУ ГРОЗЫ

**Аннотация.** Экипажи воздушных судов (ВС), выполняя полеты в условиях сложной метеорологической обстановки, могут столкнуться с проблемой выбора оптимального маршрута обхода грозы. В данной статье приводится результат попытки создания интеллектуальной адаптивной системы, основной задачей которой является оказание помощи членам экипажа по оптимизации маршрута обхода грозовых очагов таким образом, чтобы, во-первых, не допустить попадание ВС в зону грозовой деятельности и обеспечить обход грозы на безопасном удалении, регламентированном нормативными документами, и, во-вторых, обеспечить при этом приемлемый уровень экономичности с точки зрения затрат топлива.

**Ключевые слова:** автоматизация, оптимизация, интеллектуальные системы, адаптивные системы, системы поддержки принятия решений, гроза

### **Введение**

Неблагоприятные метеорологические условия полета всегда были и остаются одной из основных причин авиационных происшествий с воздушными судами (ВС) гражданской авиации. Так, за период с 2000 по 2018 гг., катастрофы, вызванные сложными погодными условиями, составляли до 14 % от общего числа авиационных происшествий [1]. Тем не менее, несмотря на серьезность угрозы, которую представляет выполнение полета в условиях грозовой деятельности, на сегодняшний день так и не было проведено исчерпывающего количества исследований об особенностях процесса принятия пилотами решений по обходу грозы [2].

В настоящий момент, выполняя полет в районе неблагоприятных метеорологических условий, пилотам приходится осуществлять выбор конкретного маршрута обхода грозовой деятельности самостоятельно: решения принимаются на основе лишь требований Руководства по производству полетов авиакомпании и данных о конфигурации грозовых очагов, полученных членами экипажа с экрана навигационного дисплея (Navigation Display, ND). Стоит отметить, что в таких условиях пилоты могут столкнуться с проблемой выбора наилучшего маршрута обхода, который обеспечивал бы как высокий уровень безопасности ВС от попадания в зону грозы, так и заданный уровень эффективности с точки зрения минимизации количества дополнительного расходуемого топлива.

В настоящей статье представлен результат разработки интеллектуальной адаптивной системы (ИАС), функционирование которой направлено на оптимизацию процесса принятия членами экипажа решений по обходу грозы.

Интеллектуальные системы представляют собой особый класс систем, отличительная особенность которых заключается в способности анализировать данные, учиться на основе предыдущего опыта взаимодействия со средой и человеком-оператором, а также принимать решения [3]. Адаптивность такой системы связана с возможностью реализации двух видов адаптации: 1) внешней адаптации, заключающейся в возможности системы изменять режим работы в зависимости от изменяющихся условий окружающей среды; и 2) внутренней адаптации, проявляющейся в способности системы приспосабливаться к текущему психофизиологическому состоянию человека-оператора [4].

Результаты проведенного патентного исследования показали, что за последние 20 лет было зарегистрировано около 260 заявок на патент авиационных систем поддержки принятия

тия решений [5], а общая положительная динамика патентной активности в сфере создания ИАС подтверждает перспективность проведенной теоретической работы. Кроме того, анализ охранных документов уже существующих способов интеллектуальной поддержки членов экипажа ВС в полете позволил отобрать ряд наиболее близких к предлагаемой системе патентов-аналогов, а также определить и некоторые ее отличительные особенности, что, в свою очередь, составило предмет изобретений [6-7].

### **Материал и методы**

С целью определения общих требований к функционированию разрабатываемой ИАС, авторами был использован предлагаемый ими метод обобщенного анализа, общий порядок проведения которого подробно описан в [8]: указанный метод объединяет в себе подходы, наиболее часто применяемые при создании адаптивной автоматики, и позволяет использовать преимущества каждого из них. Проведение анализа было разделено на основные этапы:

1. По результатам проведения *анализа цели и задач* был составлен перечень выполняемых системой задач, а общий порядок функционирования системы был представлен в виде составного сценария работы системы (табл. 1).

Таблица 1 – Составной сценарий работы системы

1.	Воздушное судно выполняет полет в условиях грозовой деятельности;
2.	Интеллектуальная система распознает наличие грозового очага вблизи расчетной траектории полета ВС, реализует алгоритм определения оптимального маршрута обхода грозы и предоставляет информацию о нем членам экипажа на экране ND;
3.	Пилот оценивает ситуацию и принимает решение на обход грозы;
4.	ИАС передает информацию об обновленной траектории полета в систему управления полетом (Flight Management System, FMS) с целью реализации автоматического обхода;
5.	На всех этапах выполнения маневра обхода ИАС предоставляет информационные сообщения экипажу.

2. В ходе проведения *анализа подзадач и требований по обеспечению ситуационной осведомленности*, определенные ранее задачи были разбиты на составляющие, для каждой из которых был составлен т. н. «информационный перечень», – в него вошла информация, необходимая системе, для реализации каждой из подзадач.

3. В ходе проведения *когнитивного анализа* был составлен перечень неблагоприятных внешних условий, которые потенциально могут оказать отрицательное влияние на наиболее важные этапы функционирования системы. Исследование [12], в свою очередь, позволило выявить ограничения человека-оператора, которые могут быть вызваны указанными внешними условиями и, как следствие, привести к ненадежной работе системы.

Сопоставление внешних и внутренних рисков показало, что *сложность задачи* по выбору наилучшего маршрута обхода грозы представляет собой наиболее значимое внешнее неблагоприятное условие функционирование системы (действительно, выбор оптимального маршрута обхода, обеспечивающего как безопасность, так и требуемый уровень экономической эффективности с точки зрения дополнительных топливных затрат, требует от пилота учета множества различных факторов в условиях строго ограниченного времени); с другой стороны, ожидается, что проблема *оптимального распределения рабочей нагрузки* в экипаже может стать одной из наиболее вероятной причиной ошибок пилотов при выполнении полета в условиях неблагоприятной метеорологической обстановки.

4. Следующий этап создания ИАС заключался в определении принципов работы системы с точки зрения *выбора способов запуска и осуществления адаптации* [13], при этом основное требование к ним состояло в том, чтобы минимизировать вероятность превышения рабочей нагрузки членов летного экипажа, связанной с выполнением нескольких задач одновременно. Были выделены следующие принципы реализации адаптивной составляющей системы: 1) было решено ограничить работу ИАС на этапах взлета и посадки, как связанных с наибольшим уровнем нагрузки на экипаж; 2) было решено ограничить работу системы при наличии сигналов от систем, обладающих большим по сравнению с ней приоритетом; а также 3) было решено реализовать механизм изменения способа предоставления экипажу информации об оптимальном способе обхода грозового очага в случае информационной перегруженности пилотов.

Результат проведения анализа может быть представлен в виде адаптационной таксономии [14] (табл. 2), позволяющей систематизировать порядок осуществления адаптации ИАС на каждом этапе ее функционирования.

Таблица 2 – Адаптационная таксономия предлагаемой ИАС

Функции ИАС	Способ реализации адаптации
<b>Для различных этапов полета</b>	
Взлет, набор высоты, заход на посадку и посадка	<p><i>Вид:</i> модификация содержания.</p> <p>Работа системы ограничена на этапах взлета и посадки, т. е. на высоте до 200 м по сигналам радиовысотомера.</p>
Другие этапы полета	<p><i>Вид:</i> модификация планирования задач.</p> <p>Работа системы ограничена при наличии сигналов от систем с более высоким по сравнению с ней приоритетом:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Система предупреждения о приближении аэродинамических характеристик к критическим;</li> <li>Система раннего предупреждения о близости земли (Enhanced Ground Proximity Warning System, EGPWS);</li> <li>Система предотвращения столкновений ВС (Airborne Collision Avoidance System, ACAS).</li> </ol>
<b>Для различных функций системы</b>	
1.1. Фиксация грозы и определение оптимального способа обхода	<p><i>Вид:</i> основанная на условиях окружающей среды.</p> <p>Система включается в работу при условии наличия грозового очага на расчетной траектории движения ВС или в непосредственной близости от нее.</p>
1.2. Предоставление информации экипажу	<p><i>Вид:</i> модификация взаимодействия.</p> <p>Система предоставляет экипажу предлагаемый наилучший маршрут обхода грозы на экране ND.</p>
2.1. Реализация взаимодействия с экипажем	<p><i>Вид:</i> основанная на времени и местоположении.</p> <p>Система предлагает экипажу: 1) активировать предложенный способ обхода; 2) отобразить альтернативные способы обхода; 3) внести изменения в параметры обхода; 4) прекратить работу системы.</p> <p>При отсутствии действий со стороны экипажа в течение заданного промежутка времени (или до заданного удаления до грозового очага), система выдает предупреждение.</p>
2.2. Реализация обхода грозового очага	<p><i>Вид:</i> основанная на условиях окружающей среды.</p> <p>Система осуществляет перерасчет оптимального маршрута обхода в случае изменения конфигурации грозы.</p> <p>Система прекращает маневр обхода и переходит в режим ожидания в случае отключения режима горизонтальной навигации автопилота.</p>
3. Информационная поддержка экипажа	<p><i>Вид:</i> основанная на времени и местоположении.</p> <p>Во время выполнения всех этапов обхода система выдает информационные сообщения экипажу.</p>

Помимо описанного метода обобщенного анализа, авторами также использованы общие методы анализа и синтеза, применяемые для определения оптимального варианта решения ИАС путем комбинирования разновидностей исполнения ее элементов и подсистем, а также математические методы определения кратчайшего пути обхода.

### **Расчет**

Работа ИАС основана на применении алгоритма определения оптимального маршрута обхода грозы, который запускается в случае, если расстояние между расчетной траектории полета ВС и зоной грозовой деятельности оказывается меньше минимально допустимого. Алгоритм состоит из основных шагов:

1) система производит дискретизацию пространства с заданными интервалами, формируя полярную систему координат. Если участок зоны грозовой деятельности оказывается внутри ячейки системы координат, то считается, что данная ячейка принадлежит *грозовому участку* (рис. 1);

2) полярные координаты точек, лежащих в узлах координатной сетки на границах грозового участка, переводятся в прямоугольные; к этим точкам применяется метод построения

минимальной выпуклой оболочки (МВО), которая представляет собой выпуклый многоугольник наименьшего периметра, такой, что все точки заданного множества лежат внутри него (внутренняя область на рисунке 2) [15].

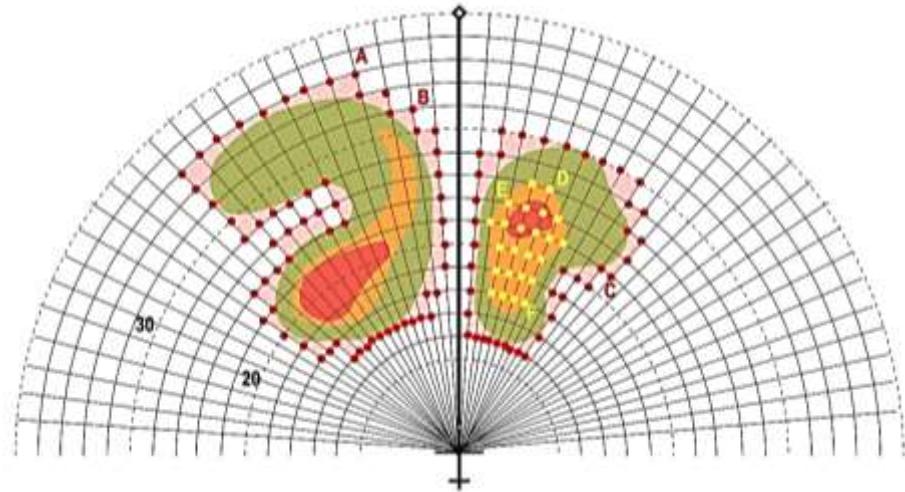


Рисунок 1 – Дискретизация пространства и определение грозовых участков

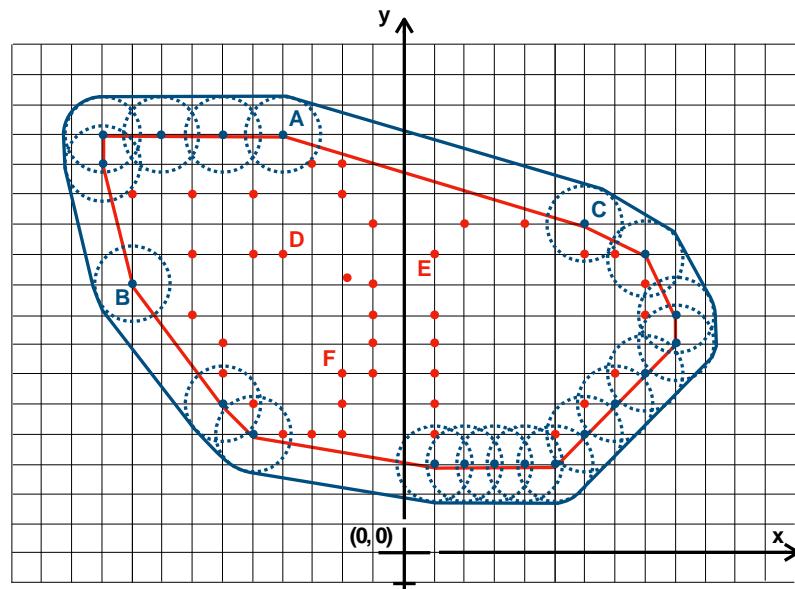


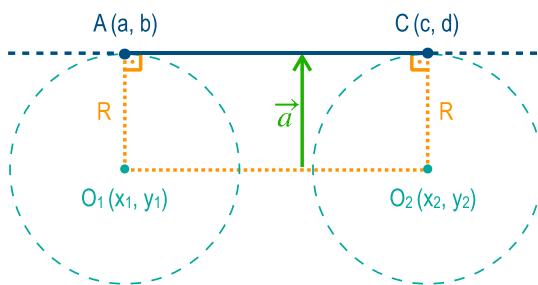
Рисунок 2 – Минимальная выпуклая оболочка и маршрут обхода

Грозовые участки, расстояние между которыми не превышает заданного, объединяются в общую МВО. Для получения МВО может быть использован алгоритм [16], в котором для выбранной точки  $p_i$  следующая точка  $p_{i+1}$  выбирается как точка с наименьшим полярным углом  $\varphi$  относительно  $p_i$ :

3) вокруг задающих МВО точек строятся окружности радиуса  $R$ , где  $R$  – заданное оператором расстояние, на котором будет производиться обход грозы. Участок, образованный огибающей этих окружностей, представляет собой *маршрут обхода* (внешняя область на рисунке 3): по нему полет вокруг грозы производится по кратчайшему расстоянию. Маршрут обхода состоит из дуг окружностей и прямых, следовательно, полет по нему может быть задан с использованием точек пути облета типа Fly-by [17];

4) координаты точек пути  $(x, y)$ , задающих маршрут обхода, определяются как точки пересечения сдвинутых на вектор  $R$  прямых, формирующих МВО, и являются функцией координат точек  $(x_i, y_i)$ , задающих МВО (рис. 3):

$$x = \frac{(x_1 - x_2)(x_2 y_3 - x_3 y_2 - \delta) - (x_2 - x_3)(x_1 y_2 - x_2 y_1 - \delta)}{(y_3 - y_2)(x_1 - x_2) + (y_1 - y_2)(x_2 - x_3)},$$



$$y = (y_1 - y_2)x + \frac{x_1y_2 - x_2y_1 - \delta}{(x_1 - x_2)};$$

$$\delta = \frac{R[(x_2 - x_3)^2 - (y_3 - y_2)^2]}{\sqrt{(x_2 - x_3)^2 + (y_3 - y_2)^2}}.$$

Рисунок 3 – Внешняя касательная к окружностям

5) выбирается способ выхода с расчетной траектории ВС для полета по маршруту обхода, для чего предлагается использовать абсолютный показатель эффективности  $E_{abc}$ , при этом маршрут обхода считается тем более эффективным, чем меньшее значением принимает  $E_{abc}$

$$E_{abc} = L_{обх} - L_{расч};$$

$$L_{обх} = \sum_{j=2}^n \sqrt{(x_j - x_{j-1})^2 + (y_j - y_{j-1})^2};$$

$$L_{расч} = y_n - y_1,$$

где  $L_{обх}$  – длина маршрута обхода как сумма длин  $n$  отрезков, заключенных между задающими маршрут обхода точками  $(x_j, y_j)$ ;

$L_{расч}$  – длина участка расчетной траектории полета как разность значений ординат точек схода с расчетной траектории полета и возврата на нее.

Использование известных методов [18] позволяет показать, что наиболее экономичным будет такой способ выхода, при котором ВС следует в задающую маршрут обхода точку пути с наибольшим (при обходе слева) или наименьшим (при обходе справа) полярным углом сразу после обнаружения грозового очага (рис. 4 справа), однако применение такого способа может привести к слишком раннему выходу ВС за пределы ширины воздушной трассы.

Альтернативный способ заключается в выходе на маршрут обхода под заданным углом  $\alpha$ , значение которого вводится оператором на этапе предполетной настройки системы (рис. 4 слева). Также во время настройки пилот выбирает предпочтительный для текущего полета способ обхода, который отобразится на экране навигационного дисплея первым.

#### Результаты и обсуждение

Основным результатом работы является типовая схема предлагаемой системы, приведенная на рисунке 5. Работа ИАС основана на применении моделей, представляющих собой совокупность знаний системы о ее компонентах, внешней среде и порядке взаимодействия с оператором и необходимых для корректного осуществления адаптации ИАС:

- 1) модель оператора и диалога – блок-схема возможных действий оператора в ответ на предложенный способ обхода;
- 2) модель задания – алгоритм определения оптимального маршрута обхода грозы;
- 3) модель среды – информация о расположении грозовых очагов;
- 4) модель системы – адаптационная таксономия системы (табл. 2).

Блок адаптации представляет собой главный связующий элемент системы, который управляет ее работой, осуществляя адаптацию и обеспечивая, таким образом, адаптивный способ предоставления информации экипажу. Обладающие более высоким по сравнению с предлагаемой ИАС системы предупреждения о критических режимах полета [19], связаны с блоком адаптации для ограничения работы ИАС при наличии сигналов от них.

Вычислительный блок ИАС осуществляет реализацию алгоритма определения оптимального маршрута обхода грозы. В вычислительный блок поступают сигналы от FMS и бортовой радиолокационной станции (БРЛС), после чего информация о рассчитанном им марш-

руте обхода передается в FMS для реализации полета по маршруту обхода в автоматизированном режиме.

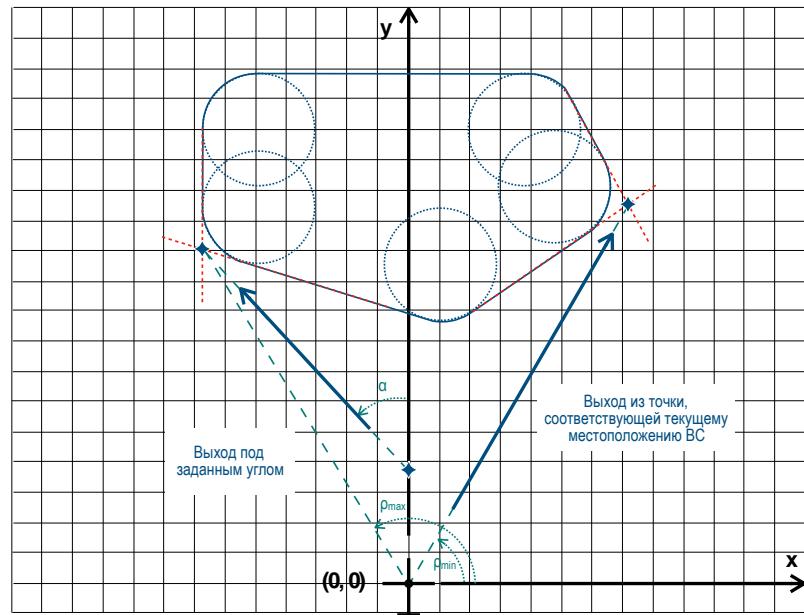


Рисунок 4 – Способы выхода на маршрут обхода

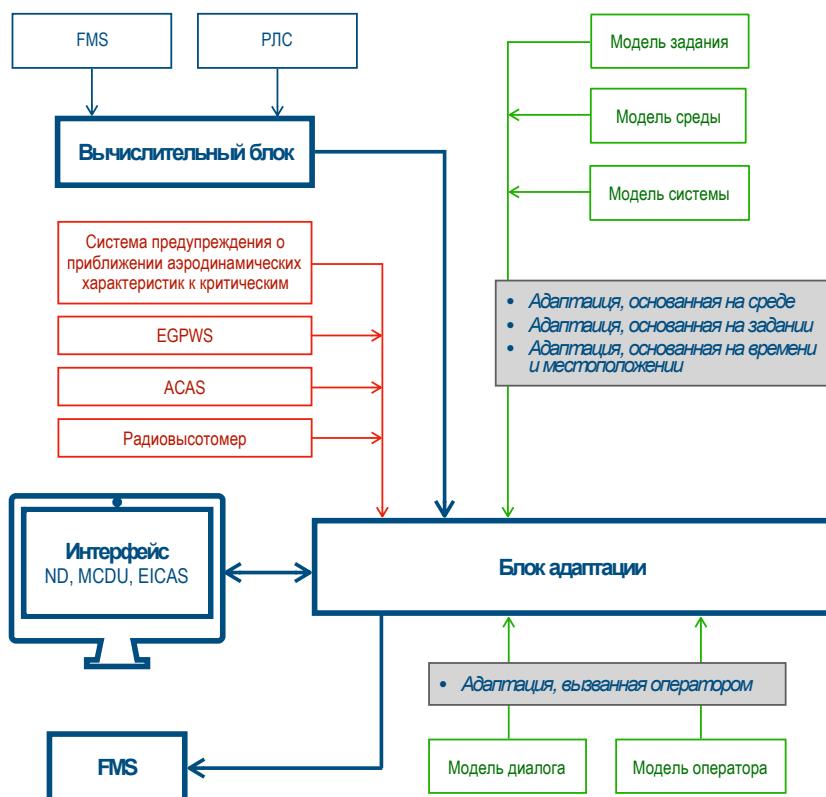


Рисунок 5 – Типовая схема ИАС

Интерфейс позволяет реализовать взаимодействие экипажа с ИАС [20]; он включает в себя: 1) Навигационный дисплей ND, с помощью которого система предоставляет экипажу наилучший маршрут обхода грозы; 2) Устройство контроля и индикации (Multiple Control and Display Unit, MCDU), с помощью которого пилоты передают системе необходимые данные о желаемых параметрах маршрута обхода; 3) Систему предупреждения (Engine Indication and Crew Alerting System, EICAS), с помощью которой ИАС выдает экипажу информационные сообщения.

Порядок взаимодействия экипажа с ИАС может быть организован следующим образом:

1) на этапе *предполетной настройки* системы пилоты с использованием MCDU передают в ИАС необходимые данные о желаемых параметрах маршрута обхода;

2) на этапе *выбора способа обхода* пилоты взаимодействуют с системой через MCDU и имеют возможность активировать предложенный способ обхода или внести в него изменения. Система, в свою очередь, предоставляет экипажу на экране ND основные сведения о предлагаемом маршруте обхода (рис. 6), включая: длину маршрута обхода  $D$ ; разницу длин маршрута обхода и расчетной траектории  $\Delta$ ; время  $t$ , затрачиваемое на обход;

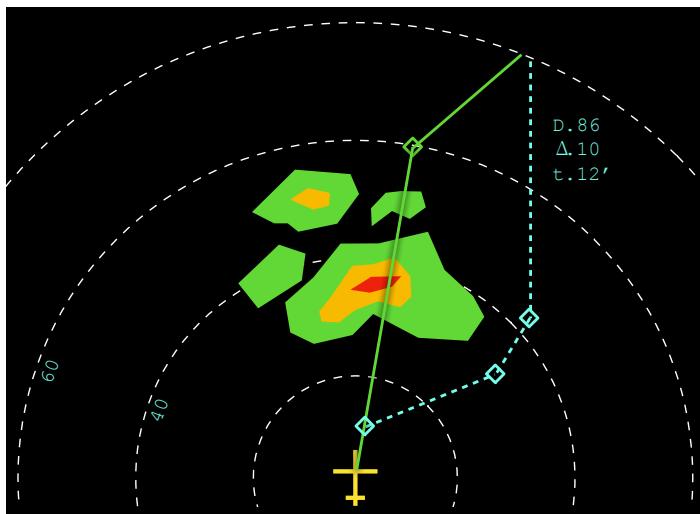


Рисунок 6 – Предоставление способа обхода на навигационном дисплее

3) на этапе осуществления обхода ИАС выдает информационные сообщения экипажу через систему EICAS, причем в том случае, если в течение заданного промежутка времени или до заданного расстояния до границы грозового очага экипаж не предпринимает никаких действий по взаимодействию с системой, реализуется адаптация способа предоставления информации экипажу (таким образом, чтобы привлечь внимание пилотов к экрану ND), а также включается звуковое предупреждение о близости грозового очага.

Предполагается, что применение предлагаемой ИАС может способствовать повышению уровня безопасности полетов, способствуя предотвращению попадания пилотируемых ВС в зону грозовой деятельности, а также оказать благоприятное влияние на экономичность воздушных перевозок.

### Выводы

Таким образом, в ходе работы над интеллектуальной системой были получены следующие практические результаты:

1) применение предлагаемого авторами метода обобщенного анализа позволило определить наиболее вероятные уязвимости создаваемой ИАС, связанные с ограничениями человека-оператора;

2) на основании проведенного анализа (в частности, с использованием схемы когнитивного анализа) обоснованы применяемые в предлагаемой ИАС принципы осуществления адаптации, направленные, прежде всего, на минимизацию вероятности ошибок экипажа, связанных с превышением допустимого уровня психофизиологической нагрузки;

3) разработан алгоритм определения оптимального маршрута обхода грозы, определяющий маршрут обхода как минимальную выпуклую оболочку точек, формирующих грозовой очаг, а также определяющий оптимальный способ выхода с расчетного маршрута для полета по маршруту обхода;

4) создана типовая схема предлагаемой интеллектуальной адаптивной системы, включающая в себя: 1) вычислительный блок; 2) блок адаптации; и 3) интерфейс;

5) разработан порядок взаимодействия пользователя с системой, включая такие этапы, как: 1) предполетная настройка; 2) выбор способа обхода; и 3) осуществление обхода;

6) определен способ предоставления информации о предлагаемом системой маршруте обхода гроз на экране навигационного дисплея.

Стоит отметить, что использование данной ИАС предполагает, что предотвращение

столкновений с другими ВС в районе полета, как и реализация рекомендаций специалистов службы обслуживания воздушного движения, будут осуществляться традиционным способом, что предусматривается развить в дальнейших исследованиях.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Сладкова Л.А. Анализ статистики авиакатастроф // Научные достижения и открытия 2019: сборник статей VIII Международного научно-исследовательского конкурса. МЦНС «Наука и Просвещение». 2019. С. 18-25.
2. Boyd D.D. In-flight decision-making by general aviation pilots operating in areas of extreme thunderstorms // Aerospace medicine and human performance. 2017. Vol. 88. P. 1066-1072.
3. Коваленко Г.В., Михальчевский Ю.Ю., Ядров И.А. Неудовлетворительное взаимодействие между элементами интеллектуальной адаптивной системы ВС, как одна из основных причин катастрофы Boeing 737 MAX8 авиакомпании Ethiopian Airlines // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. 2022. №4(37). С. 5-18.
4. Коваленко Г.В., Михальчевский Ю.Ю., Ядров И.А. Эволюция в сфере разработки интеллектуальных систем и интеллектуальные адаптивные системы // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. 2023. №1(38). С. 5-18.
5. Google Patents. Intelligent Support Systems Aviation [Электронный ресурс]. Google Patents. URL: <https://www.google.com/patents>.
6. Способ определения оптимального маршрута обхода летательным аппаратом зон грозовой деятельности и ливневых осадков: пат. 2798628 C1 RU / Ядров И.А., 2023.
7. Интеллектуальная адаптивная система поддержки принятия экипажем летательного аппарата решений по обходу очагов грозовой деятельности: пат. 2798629 C1 RU / Ядров И.А., 2023.
8. Коваленко Г.В., Ядров И.А. Сравнительный анализ методов разработки авиационных адаптивных систем и обобщенный метод MFTA/GDTA/CTA/CWA // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2023. №3. С. 45-67. DOI 10.51955/2312-1327\_2023\_3\_45.
9. Darvill D., Kumagai J., Youngson G. Requirements Analysis Methods for Complex Systems // Report to Department National Defence. 2006. 22 p.
10. Bolstad C.A., Riley J.M. Using goal directed task analysis with Army brigade officer teams // Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting. Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications, 2002. Vol. 46. Iss. 3. P. 472-476.
11. Chipman S.F., Schraagen J.M., Shalin V.L. Introduction to cognitive task analysis // Cognitive task analysis. 2000. P. 17-38.
12. Salas E. Human factors in aviation: an overview / E. Salas, D. Maurino, M. Curtis // Human factors in aviation. 2010. P. 3-19.
13. Sheridan T. B. Adaptive automation, level of automation, allocation authority, supervisory control, and adaptive control: Distinctions and modes of adaptation // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part A: Systems and Humans. 2011. Vol. 41. № 4. P. 662-667.
14. Hou M., Banbury S., Burns C. Intelligent adaptive systems: An interaction-centered design perspective. CRC Press, 2014.
15. Barber C.B., Dobkin D.P., Huhdanpaa H. The quickhull algorithm for convex hulls // ACM Transactions on Mathematical Software. 1996. Vol. 22. Iss. 4. P. 469-483.
16. Jarvis R.A. On the identification of the convex hull of a finite set of points in the plane // Information processing letters. 1973. Vol. 2. Iss. 1. P. 18-21.
17. Липин А.В., Ключников Ю.И. Зональная навигация с применением навигационных характеристик: учебное пособие. Саратов: Вузовское образование, 2017. 150 с.
18. Gallo G., Pallottino S. Shortest path algorithms // Annals of operations research. 1988. Vol. 13. Iss. 1. P. 1-79.
19. Деревянкин В.П., Кузнецов О.И., Солдаткин В.М. Особенности системы предупреждения критических режимов полета вертолета // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2012. № 3. С. 51-55.
20. Багдасаров А.А., Антипов Р.В., Багдасарова О.В., Лившиц И.Л. Индикаторные системы отображения вторичной информации комплексов авионики и автобазирования // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2011. № 2. С. 48-52.

### **Коваленко Геннадий Владимирович**

Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации им. Главного маршала авиации А.А. Новикова

Адрес: 196210, г. Санкт-Петербург, ул. Пилотов, д. 38

Д.т.н., профессор, профессор кафедры летной эксплуатации и безопасности полетов в гражданской авиации

E-mail: kgvf@inbox.ru

### **Ядров Илья Александрович**

Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации им. Главного маршала авиации А.А. Новикова

Адрес: 196210, г. Санкт-Петербург, ул. Пилотов, д. 38

Аспирант

E-mail: yadrov.ilya@gmail.com

G.V. KOVALENKO, I.A. YADROV

**INTELLIGENT ADAPTIVE FLIGHT CREW DECISION SUPPORT SYSTEM FOR THUNDERSTORM AVOIDANCE**

**Abstract.** At present, aircraft crews flying in complex meteorological conditions are guided only by radar screen data and the requirements of the airline's Flight Operations Manual, and may face the problem of selecting the optimal thunderstorm avoidance route. This article presents the result of an attempt to create an Intelligent Adaptive System, the main task of which is to assist crew members in optimizing the route of thunderstorm bypass so that, firstly, to prevent the aircraft from entering the thunderstorm activity zone and to ensure thunderstorm bypass at a safe distance, regulated by regulatory documents, and, secondly, to ensure an acceptable level of fuel efficiency.

**Keywords:** automation, optimization, intelligent systems, adaptive systems, decision support systems, thunderstorm

**BIBLIOGRAPHY**

1. Sladkova L.A. Analiz statistiki aviakatastrof // Nauchnye dostizheniya i otkrytiya 2019: sbornik statey VIII Mezhdunarodnogo nauchno-issledovatel'skogo konkursa. MTSNS «Nauka i Prosveshchenie». 2019. S. 18-25.
2. Boyd D.D. In-flight decision-making by general aviation pilots operating in areas of extreme thunderstorms // Aerospace medicine and human performance. 2017. Vol. 88. P. 1066-1072.
3. Kovalenko G.V., Mikhal'chevskiy YU.YU., Yadrov I.A. Neudovletvoritel'noe vzaimodeystvie mezhdu elementami intellektual'noy adaptivnoy sistemy VS, kak odna iz osnovnykh prichin katastrofy Boeing 737 MAX8 avia-kompanii Ethiopian Airlines // Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta grazhdanskoy aviatii. 2022. №4(37). S. 5-18.
4. Kovalenko G.V., Mikhal'chevskiy YU.YU., Yadrov I.A. Evolyutsiya v sfere razrabotki intellektual'nykh sistem i intellektual'nye adaptivnye sistemy // Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta grazhdanskoy aviatii. 2023. №1(38). S. 5-18.
5. Google Patents. Intelligent Support Systems Aviation [Elektronnyy resurs]. Google Patents. URL: <https://www.google.com/patents/US202302798628>
6. Sposob opredeleniya optimal'nogo marshruta obkhoda letatel'nym apparatom zon grozovoy deyatel'nosti i livnevyykh osadkov: pat. 2798628 C1 RU / Yadrov I.A., 2023.
7. Intellektual'naya adaptivnaya sistema podderzhki prinyatiya ekipazhem letatel'nogo apparata resheniy po obkhodu ochagov grozovoy deyatel'nosti: pat. 2798629 C1 RU / Yadrov I.A., 2023.
8. Kovalenko G.V., Yadrov I.A. Sravnitel'nyy analiz metodov razrabotki aviationsionnykh adaptivnykh sistem i obobshchennyi metod MFTA/GDTA/CTA/CWA // Crede Experto: transport, obshchestvo, obrazovanie, yazyk. 2023. №3. S. 45-67. DOI 10.51955/2312-1327\_2023\_3\_45.
9. Darvill D., Kumagai J., Youngson G. Requirements Analysis Methods for Complex Systems // Report to De-partment National Defence. 2006. 22 p.
10. Bolstad C.A., Riley J.M. Using goal directed task analysis with Army brigade officer teams // Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting. Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications, 2002. Vol. 46. Iss. 3. P. 472-476.
11. Chipman S.F., Schraagen J.M., Shalin V.L. Introduction to cognitive task analysis // Cognitive task analysis. 2000. P. 17-38.
12. Salas E. Human factors in aviation: an overview / E. Salas, D. Maurino, M. Curtis // Human factors in aviation. 2010. P. 3-19.
13. Sheridan T. B. Adaptive automation, level of automation, allocation authority, supervisory control, and adaptive control: Distinctions and modes of adaptation // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans. 2011. Vol. 41. № 4. P. 662-667.
14. Hou M., Banbury S., Burns C. Intelligent adaptive systems: An interaction-centered design perspective. CRC Press, 2014.
15. Barber C.B., Dobkin D.P., Huhdanpaa H. The quickhull algorithm for convex hulls // ACM Transactions on Mathematical Software. 1996. Vol. 22. Iss. 4. P. 469-483.
16. Jarvis R.A. On the identification of the convex hull of a finite set of points in the plane // Information processing letters. 1973. Vol. 2. Iss. 1. P. 18-21.
17. Lipin A.V., Klyuchnikov YU.I. Zonal'naya navigatsiya s primeneniem navigatsionnykh kharakteristik: uchebnoe posobie. Saratov: Vuzovskoe obrazovanie, 2017. 150 s.
18. Gallo G., Pallottino S. Shortest path algorithms // Annals of operations research. 1988. Vol. 13. Iss. 1. P. 1-79.
19. Derevyankin V.P., Kuznetsov O.I., Soldatkin V.M. Osobennosti sistemy preduprezhdeniya kriticheskikh rezhimov poleta vertoleta // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Aviationsionnaya tekhnika. 2012. № 3. S. 51-55.
20. Bagdasarov A.A., Antipov R.V., Bagdasarova O.V., Livshits I.L. Indikatornye sistemy otobrazheniya vtorichnoy informatsii kompleksov avioniki i avtobazirovaniya // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Aviationsionnaya tekhnika. 2011. № 2. S. 48-52.

**Kovalenko Gennadiy Vladimirovich**

St. Petersburg State University of Civil Aviation  
Address: 196210, Russia, St. Petersburg, Pilotov str., 38  
Doctor of technical sciences, E-mail: kgvf@inbox.ru

**Yadrov Ilya Alexandrovich**

St. Petersburg State University of Civil Aviation  
Address: 196210, Russia, St. Petersburg, Pilotov str., 38  
Graduate student, E-mail: yadrov.ilya@gmail.com

## УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ПЕРЕВОЗОК

Научная статья

УДК 656.025.2

doi:10.33979/2073-7432-2024-4-3(87)-29-35

А.Н. НОВИКОВ, Е.В. ПЕТРИЩЕ, А.А. КРАВЧЕНКО, А.С. ТРОШИН

### АНАЛИЗ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НОВЫХ МИКРОРАЙОНОВ ГОРОДА ОРЛА

**Аннотация.** В статье рассматриваются проблемы транспортного обслуживания новых микрорайонов города Орла. Авторы анализируют текущую ситуацию, выявляют основные проблемы и предлагают возможные пути их решения. Практическая реализация предложенных мероприятий выполнена на примере маршрута «Санаторий Лесной – микрорайон Новая Ботаника».

**Ключевые слова:** транспортное обслуживание, пассажирский транспорт, маршрут, транспортное обслуживание, пассажиропоток, жилой микрорайон, город Орёл, проблемы, решения, перспективы

#### **Введение**

В современном мире развитие городской инфраструктуры и обеспечение эффективного транспортного обслуживания населения становятся ключевыми факторами успешного функционирования городов. В связи с этим особую актуальность приобретают вопросы, связанные с транспортным обслуживанием новых микрорайонов, которые активно застраиваются в последние годы [2].

Орёл, как и многие другие города России, сталкивается с проблемой обеспечения транспортной доступности новых территорий. Недостаточная инфраструктура, несоответствие транспортных потоков потребностям населения, отсутствие эффективного планирования и организации движения – все это приводит к ряду проблем, негативно влияющих на качество жизни жителей новых микрорайонов [3].

В городе Орле, а также в Орловском муниципальном округе за последние 15 лет построены более десяти новых жилых микрорайонов, в которых проживает значительная часть городского населения.

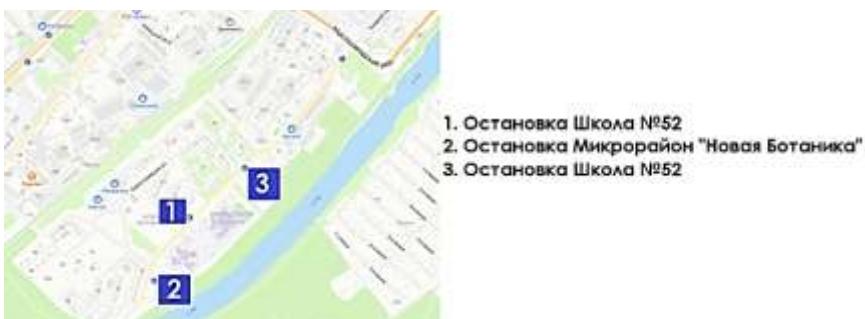
В данной статье будет дана характеристика одного из микрорайонов города, а также проведен анализ существующих проблем в области транспортного обеспечения населения, и предложены возможные пути их решения.

#### **Материал и методы**

Микрорайон «Новая Ботаника» был заложен в 2007 году в Заводском районе города Орла в 1,5 километрах от автовокзала «Орел» и в непосредственной близости от завода растительных масел «Орелмасло» и парка «Ботаника». В настоящее время в данном микрорайоне насчитывается 22 многоквартирных дома, включая дома нового ЖК «Подсолнухи», построенные в 1 квартале 2022 года. В «Новой Ботанике» проживают более 5000 человек. Кроме жилых домов микрорайон включает в себя отделение почты, школу №52 на 550 учащихся и детский сад №92, рассчитанный на 320 детей, а также различные продовольственные магазины и аптеки.

Въезд/выезд в микрорайон расположен на перекрестке, образованном переулками Пищевой и Маслозаводской. В состав улично-дорожной сети микрорайона «Новая Ботаника» входят дороги категории 4 с шириной полосы движения 3 метра.

Транспортное обслуживание микрорайона осуществляется одним городским автобусным маршрутом, проходящим по улице 5-й Орловской Стрелковой дивизии. Перечень остановочных пунктов в микрорайоне «Новая Ботаника» представлен на рисунке 1.



*Рисунок 1 – Перечень остановочных пунктов в микрорайоне «Новая Ботаника» и их местоположение на карте*

Остановки «Школа №52» и «Новая Ботаника» расположены на расстоянии 100-400 метров от ближайших домов, это соответствует нормативам, утвержденным в распоряжении Минтранса России № НА-19-р «Социальный стандарт транспортного обслуживания населения при осуществлении перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом».

Автобусные перевозки в микрорайоне «Новая Ботаника» осуществляют частный перевозчик, используя при этом транспортные средства среднего класса ПАЗ-32054 и ПАЗ-320302-11 в количестве 14 единиц.

#### **Теория / Расчет**

Правильный выбор подвижного состава является важным фактором, влияющим на эффективность и качество работы пассажирского транспорта. Подвижной состав должен отвечать установленным требованиям прочности, надежности, своевременно проходить планово-предупредительные виды ремонта, техническое обслуживание и содержаться в эксплуатации в исправном состоянии, обеспечивающем его бесперебойную работу и безопасность движения [13].

Качество транспортного обслуживания зависит от многих факторов, таких как состояние транспортной инфраструктуры, количество и качество транспортных средств, уровень квалификации персонала, стоимость проезда и т.д. Улучшение качества транспортного обслуживания является важной задачей для любого города или региона [8].

Транспортное обслуживание микрорайона «Новая Ботаника» стало осуществляться с 2010 года. Одним из автобусных маршрутов регулярных пассажирских перевозок, обслуживающих данный микрорайон, в 2013 году стал маршрут №38 «Санаторий «Лесной»- микрорайон «Новая Ботаника». Автобусы осуществляли движение от санатория «Лесной» по улице Металлургов через Московское шоссе, улицы Московская и Комсомольская до остановки «Автовокзал», далее по Маслозаводскому переулку, Пищевому переулку и улице 5-й Орловской Стрелковой Дивизии до конечной остановки «Микрорайон Новая Ботаника». Маршрут проходил через Северный, Железнодорожный и Заводской районы города Орла. В 2016 году в рамках формирования новой транспортной схемы данный маршрут был включен в реестр городских перевозок под номером 21.

До 2020 года функционировал автобусный маршрут, соединяющий микрорайон «Новая Ботаника» с Советским районом города Орла.

Таким образом, на сегодняшний день не существует прямого маршрута, позволяющим пассажирам без пересадок добираться до социально-значимых объектов, расположенных в Советском районе города Орла, таких как БСМП им. Н.А Семашко, Фундаментальная библиотека при ОГУ им. И.С. Тургенева и др. Кроме того, в связи с тем, что единственный действующий маршрут, обслуживаемый автобусами среднего класса, не способен удовлетворить в полной степени потребностей пассажиров, многие жители используют личный автомобильный транспорт.

Для обеспечения качественного обслуживания общественным транспортом жителей микрорайона «Новая Ботаника» необходимо провести мероприятия по улучшению транспортного обслуживания на маршрутах регулярных пассажирских перевозок.

К одному из этих мероприятий можно отнести замену подвижного состава с автобусов средней вместимости на автобусы большой вместимости. Одним из распространенных представителей автобусов данного класса является ЛиАЗ-5292.67.

Автобус ЛиАЗ-5292.67 – низкопольный автобус, предназначенный для крупных горо-

дов с большим пассажиропотоком, увеличение которого происходит за счет сокращения простоев на остановках и максимальной пассажировместимости.

Все изменения в транспортной работе маршрутных средств осуществляется согласно Федеральному закону № 220-ФЗ «Об организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» и закона Орловской области №1886-ОЗ «Об отдельных правоотношениях в сфере организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом на территории Орловской области».

Для планирования перевозок по маршруту «Микрорайон «Новая Ботаника» – Санаторий «Лесной»» произведем расчет необходимого количества автобусов модели ЛиАЗ-5292.67 и вычислим интервал движения транспортных средств на маршруте.

В первую очередь определим время в движении [5]:

$$t_{\text{дв}} = \frac{L_m \times 60}{V_m}, \quad (1)$$

где  $L_m$  – длина маршрута, км;

$V_m$  – скорость в движении, км/ч;

$$t_{\text{дв}} = \frac{16,7 \times 60}{30} = 33 \text{ мин.}$$

Суммарное время простоев на всех остановочных пунктах [8,9]:

$$t_n = t_{\text{он}} \times N_{\text{ост}}, \text{ с.} \quad (2)$$

где  $t_{\text{он}}$  – время, затрачиваемое на промежуточных остановочных пунктах;

$N_{\text{ост}}$  – количество остановочных пунктов;  $N_{\text{ост}} = 28$ .

$$T_n = 56 \times 28 = 880 \text{ с} = 26 \text{ мин.}$$

Время рейса на автобусном маршруте определяется по следующей формуле [5]:

$$t_p = t_{\text{дв}} + t_n + t_k, \text{ ч} \quad (3)$$

где  $t_p$  – время рейса;

$t_{\text{дв}}$  – время в движении, ч.;

$t_n$  – суммарное время простоев на промежуточных пунктах, ч.;

$t_k$  – время простоев на конечном пункте, ч.

Суммарное время на конечных остановочных пунктах  $t_k$  равно 15 минутам (время для оценки состояния автобуса) [8,9].

Время рейса на маршруте составляет:  $t_p = 33 + 26 + 15 = 74 \text{ мин} = 1,23 \text{ ч.}$

Время оборотного рейса находится по формуле [9]:  $T_{\text{об}} = 2 \times t_p$ ,

где  $T_{\text{об}}$  – время оборотного рейса.

$$T_{\text{об}} = 2 \times 74 = 148 \text{ мин} = 2,5 \text{ ч.}$$

Количество автобусов  $A_M$  на маршруте [8, 9]:  $A_M = \frac{Q_{\text{max}}}{q_n} \times T_{\text{об}},$  (5)

где  $Q_{\text{max}}$  – максимальная мощность пассажиропотока на наиболее загруженном участке в часы пик, чел.;

$q_n$  – номинальная вместимость автобуса, чел.

Номинальная вместимость автобуса ЛиАЗ-5292.67 составляет 114 человек.

Максимальная мощность пассажиропотока на наиболее загруженном участке в часы пик составляет 550 человек.  $A_M = \frac{550}{114} \times 2,5 = 12 \text{ авт.}$

Для осуществления перевозок по маршруту регулярных пассажирских перевозок необходимо 12 автобусов ЛиАЗ-5292.67.

Интервал между автобусами определяется по формуле [8, 9]:

$$I = \frac{T_{\text{об}}}{A_M}, \quad (6)$$

$$I = \frac{148}{12} \approx 12 \text{ мин.}$$

Таким образом, использование автобусов ЛиАЗ-5292.67 позволит без существенного изменения в интервале движения увеличить пассажиропоток, что будет способствовать улучшению транспортной доступности для жителей города, которые получат возможность добираться до объектов социальной инфраструктуры, здравоохранения и учебных заведений к моменту их открытия (времени официального начала работы организаций), а школьникам посещать образовательные организации [1].

Для обеспечения беспересадочной связи между Советским районом и районом «Новая Ботаника» необходимо проработать автобусный маршрут регулярных пассажирских перевоз-

зок, который будет связывать данные направления.

В качестве мероприятий по улучшению транспортного обслуживания новых микрорайонов города Орла необходимо продлить один из действующих автобусных маршрутов регулярных пассажирских перевозок. Так, автобусный маршрут №115 предлагается продлить на 2,2 километра от конечной остановки «Автовокзал» через Маслозаводской переулок, Пищевой переулок и улицу 5-й Орловской Стрелковой дивизии до конечной остановки «Микрорайон Новая Ботаника» с использованием автобусов средней вместимости (рис. 2).



Рисунок 2 – Трасса автобусного маршрута регулярных пассажирских перевозок до и после изменений

Произведем расчет технико-эксплуатационных показателей для автобусного маршрута регулярных пассажирских перевозок с учетом изменения трассы следования.

Время в движении определяется по формуле (1) [5]:  $t_{\text{дв}} = \frac{12,6 \times 60}{30} = 25 \text{ мин.}$

Суммарное время простоя на всех остановочных пунктах рассчитаем по формуле (2) [8, 9]:  
 $t_n = 55 \times 19 = 1045 \text{ с} = 17 \text{ мин.}$

Определим время рейса на автобусном маршруте по формуле (3) [8]:

$$t_p = 25 + 17 + 15 = 57 \text{ мин} = 0,95 \text{ ч.}$$

Вычислим время оборотного рейса по формуле (4) [9]:  $T_{\text{об}} = 2 \times 57 = 114 \text{ мин} = 1,9 \text{ ч.}$

Рассчитаем необходимое количество автобусов  $A_M$  на маршруте по формуле (5), приняв в ней номинальную вместимость автобуса ЛиАЗ-4292.60 в 79 человек и максимальную мощность пассажиропотока в 550 человек. [8, 9]:  $A_M = \frac{550}{79} \times 1,9 = 13 \text{ авт.}$

Согласно формуле (6) интервал движения между автобусами составляет [8, 9]:

$$I = \frac{114}{10} \approx 11 \text{ мин.}$$

На продленном маршруте регулярных пассажирских перевозок целесообразно использовать автобусы средней вместимости. Для осуществления перевозок по автобусному маршруту №115 требуется 13 машин.

### Результаты и обсуждение

Таблица 1 – Расписание движения автобусов ЛиАЗ-5292.67 по сменному графику

№ графика	Время начала работы, часы	Санаторий «Лесной»		Микрорайон «Новая Ботаника»		Время окончания работы	Общее время на маршруте, часы	Количество рейсов
		Прибытие, часы	Отправление, часы	Прибытие, часы	Отправление, часы			
1	6:04	6:10 8:48 11:05 13:43 17:19 20:07	6:10 11:05 14:41 17:29	7:24 12:19 15:55 18:43	7:34 12:29 16:05 18:53	20:14	14	8
9:18-9:58 заправка, перерыв 10:28-10:58, 13:50-14:35								

Для оптимальной и качественной работы автобусов большой вместимости на маршрутах регулярных пассажирских перевозок целесообразно их использование в пиковое время в количестве 1-2 машин со сменным 12-часовым графиком рабочего дня. Предполагаемое рас-

писление движения автобусов по маршруту №21 «Санаторий «Лесной» – Микрорайон «Новая Ботаника»» представлена в таблице 1. Автобусы ЛиАЗ-5292.67 имеют возможность работать на газомоторном топливе, в этом случае в графике движения отводится время для заправки транспортного средства метаном на газомоторной станции (на заправку автобуса уходит от 10 до 20 минут). В среднем маршрутные транспортные средства на газомоторном топливе требуют заправки 1-3 раза в сутки. Однако это лишь приблизительные оценки, и фактическая частота заправок может отличаться в зависимости от конкретных условий эксплуатации [2].

С учетом продления автобусного маршрута №115 от остановки «Автовокзал» до остановки «Микрорайон Новая Ботаника» составим расписание движения автобусов по всему маршруту (табл. 2).

### **Выходы**

На основе вышеуказанных расчетов можно будет сделать выводы о текущем состоянии транспортного обслуживания новых микрорайонов города Орла, выявить основные проблемы и разработать рекомендации по улучшению транспортной инфраструктуры. Эти расчеты помогут обосновать необходимость внедрения новых транспортных решений и технологий, а также повысить уровень жизни горожан.

Таблица 2 – Расписание движения автобусов регулярных пассажирских перевозок с учетом предполагаемой схемы движения.

№ графика	Время начала работы, часы	Микрорайон «Новая Ботаника»		Микрорайон «Болховский»		Время окончания работы	Общее время на маршруте, часы	Количество рейсов
		Прибытие, часы	Отправление, часы	Прибытие, часы	Отправление, часы			
1	7:20	8:55 11:25 14:23 19:15	9:10 12:08 17:00 19:30	7:40 10:10 13:08 18:00 20:30	7:55 10:25 13:23 18:15	21:00	14	8

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Андреев К.П., Терентьев В.В., Шемякин А.В. Проведение мероприятий для повышения качества обслуживания пассажиров // Поколение будущего: Взгляд молодых ученых – 2017: Сборник научных статей 6-й Международной молодежной научной конференции. 2017. С. 33-35
2. Киселев В.А., Шемякин А.В., Полищук С.Д., Терентьев В.В., Андреев К.П., Чурилов Д.Г. Оптимизация транспортной инфраструктуры городов // Транспортное дело России. 2018. №5. С. 138-140.
3. Конычева Н.А. Управление эффективностью и качеством пассажирских автоперевозок в регионе: дис. ... канд. экон. наук. Тамбов, 2005. 171 с
4. Кулева Н.С., Кулев А.В., Кулев М.В., Ломакин Д.О. Разработка методики определения количества и класса транспортных средств на маршруте // Мир транспорта и технологических машин. 2021. №4(75). С. 67-73. DOI 10.33979/2073-7432-2021-75-4-67-73.
5. Kulev A.V., Kulev M.V., Kuleva N.S. Basic approaches to the choice of methods of passenger traffic flow analysis // IOP Conference Series: materials science and engineering. International conference on modern trends in manufacturing technologies and equipment. 2020. С. 033071.
6. Kulev M.B., Kulev A.V., Kuleva N.S. Efficiency assessment in transport service provision for the population of Orel city // IOP Conference series: materials science and engineering. International conference on modern trends in manufacturing technologies and equipment. 2020. 971. С. 052090.
7. Кулева Н.С., Новиков А.Н., Кулев А.В., Кулев М.В. Повышение эффективности функционирования городского пассажирского транспорта // Информационные технологии инновации на транспорте: Материалы 2-ой Международной научно-практической конференции. 2016. С.378-382.
8. Кравченко Е.А. Пассажирские перевозки: Учебное пособие. Краснодар: КубГТУ, 2003. 105 с.
9. Основы организации дорожного движения: Учебное пособие / А.Н. Новиков, Л.Е. Кущенко, С.В. Кущенко, А.С. Камбур. Белгород, Орел: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. 170 с.
10. Новиков А.Н., Еремин С.В., Шевцова А.Г. Пути повышения безопасности функционирования общественного транспорта в условиях перспективного развития города. Белгород-Орел: Белгородский государ-

ственний технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. 239 с.

11. Shevtsova A.G., Novikov A.N., Silyanov V.V. Method of Urban Traffic Management // Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Conference Proceedings. Moscow. 2021. P.9416113. DOI 10.1109/IEEECONF51389.2021.9416113.

12. Кулев А.В., Внуков С.С. Характеристика маршрутной системы города Орел // Будущее науки-2019: сборник научных статей 7-й Международной молодежной научной конференции. Т. 6. Курск: Юго-Западный государственный университет. 2019. С. 64-67.

13. Кулев А.В., Минаева Е.М. Проблемы повышения качества в сфере перевозок пассажиров // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №3-2(82). С. 100-105. DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-2(82)-100-105.

14. Пассажирские автомобильные перевозки: учебник для вузов / В.А. Гудков, Л.Б. Миротин, А.В. Вельможин, С.А. Ширяев. М.: Горячая линия – Телеком, 2006. 448 с.

15. ГОСТ Р 51004-96. Услуги транспортные. Пассажирские перевозки. Номенклатура показателей качества. М.: Госстандарт, 1996.

16. Новиков А.Н., Петрище Е.В. Проблемы транспортного обслуживания города Орла и Орловского муниципального округа // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №3-3(86). С. 48-54. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-3(86)-48-54.

17. Белокуров В.П., Панявина Е.А., Бусарин Э.Н., Кораблев Р.А. Экономико-математические модели рационального развития городских пассажирских перевозок // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №3-1(86). С. 35-41. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-1(86)-35-41.

18. Михневич И.М., Белехов А.А. Метод оценки целесообразности внедрения транспорта по запросу в городских и пригородных зонах // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №2-2(85). С. 32-41. DOI 10.33979/2073-7432-2024-2-2(85)-32-41.

19. Кудрявцев А.А., Воронов П.О. Методика оценки уровня комфорта пассажира в зависимости от наполнения салона // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №2-1(85). С. 23-30. DOI 10.33979/2073-7432-2024-2-1(85)-23-30.

20. Зырянов В.В., Семчугова Е.Ю., Караева М.Р., Костенко А.А. Повышение качества прогнозирования объемов перевозок с использованием нейронных сетей // Мир транспорта и технологических машин. 2024. №1-3(84). С. 27-34. DOI 10.33979/2073-7432-2024-1-3(84)-27-34.

**Новиков Александр Николаевич**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

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

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

E-mail: novikovan58@bk.ru

**Петрище Евгений Витальевич**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

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

Аспирант

E-mail: petrishe.evgenii@mail.ru

**Кравченко Андрей Алексеевич**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

К.т.н., доцент кафедры эксплуатации и организации движения автомобилей

E-mail: belted31@mail.ru

**Трошин Александр Сергеевич**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

Д.э.н., доцент, заведующий кафедрой мировой экономики и финансового менеджмента

E-mail: as\_troschin@inbox.ru

---

A.N. NOVIKOV, E.V.PETRISHCHE, A.A. KRAVCHENKO, A.S. TROSHIN

## **ANALYSIS OF TRANSPORT SERVICES FOR NEW NEIGHBORHOODS OF THE CITY OF ORYOL**

**Abstract.** The article deals with the problems of transport services for new neighborhoods of the city of Orel. The authors analyze the current situation, identify the main problems and suggest possible solutions. The practical implementation of the proposed measures was carried out using the example of the route «Sanatori Lesnoy – New Botany microdistrict».

**Keywords:** transport services, passenger transport, route, transport services, passenger traffic, residential neighborhood, city of Orel, problems, solutions, prospects

## BIBLIOGRAPHY

1. Andreev K.P., Terent'ev V.V., Shemyakin A.V. Provedenie meropriyatiy dlya povysheniya kachestva obsluzhivaniya passazhirov // Pokolenie budushchego: Vzglyad molodykh uchenykh - 2017: Sbornik nauchnykh statey 6-y Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii. 2017. S. 33-35
2. Kiselev V.A., Shemyakin A.V., Polishchuk S.D., Terent'ev V.V., Andreev K.P., Churilov D.G. Optimizatsiya transportnoy infrastruktury gorodov // Transportnoe delo Rossii. 2018. №5. S. 138-140.
3. Konycheva N.A. Upravlenie effektivnost'yu i kachestvom passazhirskikh avtoperevozok v regione: dis. ... kand. ekon. nauk. Tambov, 2005. 171 s
4. Kuleva N.S., Kulev A.V., Kulev M.V., Lomakin D.O. Razrabotka metodiki opredeleniya kolichestva i klassa transportnykh sredstv na marshrute // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2021. №4(75). S. 67-73. DOI 10.33979/2073-7432-2021-75-4-67-73.
5. Kulev A.V., Kulev M.V., Kuleva N.S. Basic approaches to the choice of methods of passenger traffic flow analysis // IOP Conference Series: materials science and engineering. International conference on modern trends in manufacturing technologies and equipment. 2020. S. 033071.
6. Kulev M.V., Kulev A.V., Kuleva N.S. Efficiency assessment in transport service provision for the population of Orel city // IOP Conference series: materials science and engineering. International conference on modern trends in manufacturing technologies and equipment. 2020. 971. S. 052090.
7. Kuleva N.S., Novikov A.N., Kulev A.V., Kulev M.V. Povyshenie effektivnosti funktsionirovaniyagorodskogo passazhirskogo transporta // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: Materialy 2-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 2016. S.378-382.
8. Kravchenko E.A. Passazhirskie perevozki: Uchebnoe posobie. Krasnodar: KubGTU, 2003. 105 s.
9. Osnovy organizatsii dorozhnogo dvizheniya: Uchebnoe posobie / A.N. Novikov, L.E. Kushchenko, S.V. Ku-shchenko, A.S. Kambur. Belgorod, Orel: Belgorodskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskiy universitet im. V.G. Shukhova, 2023. 170 s.
10. Novikov A.N., Eremin S.V., Shevtsova A.G. Puti povysheniya bezopasnosti funktsionirovaniya obshchествennogo transporta v usloviyakh perspektivnogo razvitiya goroda. Belgorod-Orel: Belgorodskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskiy universitet im. V.G. Shukhova, 2023. 239 s.
11. Shevtsova A.G., Novikov A.N., Silyanov V.V. Method of Urban Traffic Management // Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Conference Proceedings. Moscow. 2021. P.9416113. DOI 10.1109/IEEECONF51389.2021.9416113.
12. Kulev A.V., Vnukov S.S. Harakteristika marshrutnoy sistemy goroda Orel // Budushchee nauki-2019: sbornik nauchnykh statey 7-y Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii. T. 6. Kursk: YUgo-Zapadnyy gosudarstvennyy universitet. 2019. S. 64-67.
13. Kulev A.V., Minaeva E.M. Problemy povysheniya kachestva v sfere perevozok passazhirov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №3-2(82). S. 100-105. DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-2(82)-100-105.
14. Passazhirskie avtomobil'nye perevozki: uchebnik dlya vuzov / V.A. Gudkov, L.B. Mirotin, A.V. Vel'mozhin, S.A. Shiryaev. M.: Goryachaya liniya - Telekom, 2006. 448 s.
15. GOST R 51004-96. Uslugi transportnye. Passazhirskie perevozki. Nomenklatura pokazateley kachestva. M.: Gosstandart, 1996.
16. Novikov A.N., Petrishche E.V. Problemy transportnogo obsluzhivaniya goroda Orla i Orlovskogo munitsipal'nogo okruga // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2024. №3-3(86). S. 48-54. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-3(86)-48-54.
17. Belokurov V.P., Panyavina E.A., Busarin E.N., Korablev R.A. Ekonomiko-matematicheskie modeli ratsional'nogo razvitiya gorodskikh passazhirskikh perevozok // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2024. №3-1(86). S. 35-41. DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-1(86)-35-41.
18. Mikhnevich I.M., Belekhov A.A. Metod otsenki tselesoobraznosti vnedreniya transporta po zaprosu v gorodskikh i prigorodnykh zonakh // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2024. №2-2(85). S. 32-41. DOI 10.33979/2073-7432-2024-2-2(85)-32-41.
19. Kudryavtsev A.A., Voronov P.O. Metodika otsenki urovnya komfortnosti passazhira v zavisimosti ot napolneniya salona // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2024. №2-1(85). S. 23-30. DOI 10.33979/2073-7432-2024-2-1(85)-23-30.
20. Zyryanov V.V., Semchugova E.YU., Karaeva M.R., Kostenko A.A. Povyshenie kachestva prognozirovaniya ob'emov perevozok s ispol'zovaniem nevronnykh setey // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2024. №1-3(84). S. 27-34. DOI 10.33979/2073-7432-2024-1-3(84)-27-34.

**Novikov Alexander Nikolaevich**

Orel State University

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

Doctor of Technical Sciences

E-mail: novikovan58@bk.ru

**Petrishche Evgeny Vitalievich**

Orel State University

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

Postgraduate student

E-mail: petrishe.evgenii@mail.ru

**Kravchenko Andrey Alekseevich**

Belgorod State Technological University

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

Candidate of Technical Sciences

E-mail: belted31@mail.ru

**Troshin Alexander Sergeevich**

Belgorod State Technological University

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

Doctor of Economics Sciences

E-mail: as\_troschin@inbox.ru

Научная статья  
УДК 656.025(470.45)  
doi:10.33979/2073-7432-2024-4-3(87)-36-44

А.В. КУЛИКОВ

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК ПАССАЖИРОВ НА ПРИМЕРЕ Г. ВОЛГОГРАДА

**Аннотация.** В статье на примере города-миллионника проанализированы показатели функционирования транспортной системы городского пассажирского транспорта (ГПТ). Определено количество маршрутов и объем перевезенных пассажиров за 2023 г. в г. Волгограде. На территории города предложено разработать 29 крупных транспортно-пересадочных узлов (ТПУ), обеспечивающих взаимодействие различного пассажирского транспорта для выполнения мультимодальных перевозок. Мультимодальные ТПУ сформированы на основании разработанной ранее методики. Схема модели транспортной сети представлена взаимодействием ГПТ на территории г. Волгограда в виде вершин и ребер. В работе исследовано распределение маршрутов по ТПУ. Разработана модель транспортной сети, характеризующая взаимосвязь мультимодальных ТПУ со всеми видами ГПТ. Рассмотрена возможность организации мультимодальных перевозок по разработанной сети.

**Ключевые слова:** транспортная сеть, мультимодальные перевозки, городской пассажирский транспорт, пассажиры, транспортно-пересадочные узлы, маршрутная сеть, троллейбус, трамвай, электропоезд, автобус, схема, модель

### Введение

Современные подходы в организации перевозок пассажиров ГПТ требуют новых решений, позволяющих жителям крупных городов свободно и быстро перемещаться как по территории города, так и в границах его агломерации. Решение этого вопроса невозможно без создания механизма трансформации маршрутной сети всех видов ГПТ, согласно изменяющимся пассажиропотокам и требованиям, обеспечивающим взаимоудовлетворение интересов пассажиров, перевозчиков и муниципального управления города. Вопрос повышения эффективности работы ГПТ является актуальным.

### Материал и методы

В работе используются методы статистического анализа обработки данных по развитию транспортной сети ГПТ г. Волгограда. Для разработки мультимодальных ТПУ и построения модели транспортной сети применяется графоаналитический метод.

### Теория / Расчет

Волгоград – город на юго-востоке европейской части России, административный центр Волгоградской области. Транспортная значимость Волгограда обусловлена выгодным географическим расположением города, который расположен в месте сближения двух крупных рек – Волги и Дона и железнодорожных магистралей.

Город территориально поделен на 8 административных районов. Семь из которых вытянуты вдоль Волги: Тракторозаводской, Краснооктябрьский, Центральный, Ворошиловский, Советский, Кировский и Красноармейский, а восьмой Дзержинский район развивается в западном направлении города, формируя отдельную транспортную сеть с выходом на крупные терминалы: аэропорт и создание агломерации в сторону Москвы.

Анализ размещения транспортных сетей по районам города показал, что обособленными районами со своим внутренним транспортом являются Красноармейский и Тракторозаводской, остальные районы имеют транзитное значение.

Маршрутная сеть ГПТ г. Волгограда включает все виды наземного транспорта (автобус, трамвай, троллейбус, маршрутные такси, электропоезд), метротрам (подземный скоростной трамвай) и водный транспорт [1].

Каждый вид ГПТ имеет особенные характеристики, поэтому для эффективного функционирования городской системы нужны тщательно скоординированные различные виды ГПТ.

Распределение объемов перевозок пассажиров между автобусами, троллейбусами, трамваями, метрополитеном и маршрутными такси производится исходя из потребностей населения, величины пассажиропотоков по отдельным направлениям, экономически целесообразных сфер применения отдельных видов транспорта. При этом должны полностью обеспечиваться потребность населения в перевозках и устанавливаемые нормы передвижения – время в поездке, степень использования вместимости и регулярность прибытия подвижного состава [2].

На рисунке 1 представлен объем перевозок пассажиров ГПТ в РФ за 2000-2022 гг. [3].

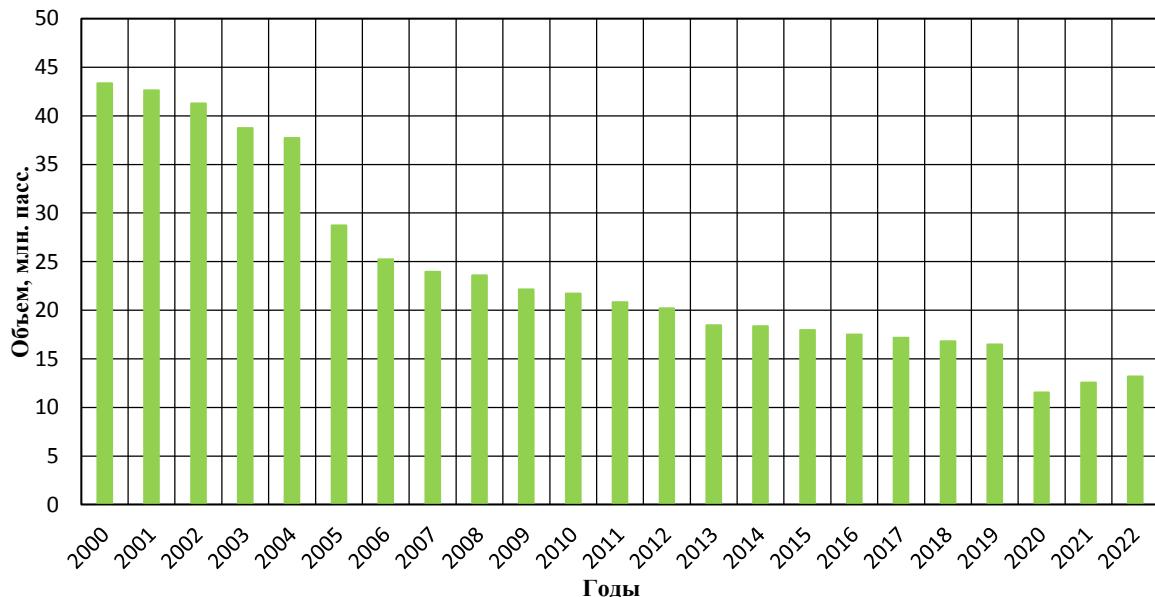


Рисунок 1 – Объем, перевезенных пассажиров ГПТ в РФ за 2000-2022 гг.

По данным рисунка 1 можно сделать вывод, что в Российской Федерации за последние несколько лет происходит снижение пассажиропотока на ГПТ. В 2020 г. отмечается самый низкий показатель за последние 20 лет, небольшой рост происходит в 2021-2022 гг.

Необходимость совершенствования системы организации перевозок, в первую очередь, связана с увеличением потребности пассажиров в перемещениях. Приоритеты и требования пассажиров к качеству транспортных услуг изменились. Главными критериями при выборе какого-либо вида транспорта выступают время, финансовые затраты, комфорт, безопасность и желание пассажиров организовывать свое путешествие самостоятельно с помощью интернета [4].

Организация мультимодальных пассажирских перевозок позволит сформировать эффективную систему транспортного обслуживания населения, сочетать различные виды транспорта с целью использования преимуществ каждого вида и оптимизировать временные и финансовые затраты, а также выполнить ряд других задач.

В г. Волгограде за 2023 г. ГПТ перевезено более 90 млн. пасс. Ежедневно автобусами, трамваями и троллейбусами пользуются в среднем порядка 250 тыс. чел. При этом 48,7 млн. пасс. пользовались услугами электротранспорта, 43,7 млн. – проехали на автобусах, 477,5 тыс. пасс. провез речной транспорт [5].

В настоящее время транспортная сеть ГПТ г. Волгограда имеет 872 остановочных пункта и 61 маршрут транспорта: 2 маршрута метротрама, 11 трамвайных маршрутов, 5 троллейбусных, 20 автобусных и 23 маршрута маршрутных такси [6-8].

Взаимодействие различных видов ГПТ происходит в ТПУ путем создания инфраструктуры для пересадки пассажиров. В соответствии с СП 395.1325800.2018 «Транспортно-

пересадочные узлы» транспортно-пересадочные узлы – это комплекс объектов недвижимого имущества, включающий в себя земельный участок либо несколько земельных участков с расположенными на них, над ними или под ними объектами транспортной инфраструктуры, а также другими объектами, предназначенными для обеспечения безопасного и комфортного обслуживания пассажиров в местах их пересадок с одного вида транспорта на другой [9].

Мультимодальный тип ТПУ должен включать в себя несколько видов транспорта, но в реальности остановочные пункты различных видов транспорта разбросаны по определенной территории. Пассажиры ГПТ г. Волгограда в большинстве случаев не имеют возможности пересесть на одном остановочном пункте на аналогичный транспорт другого маршрута, а тем более на другой вид транспорта. Им часто приходится преодолеть какое-то расстояние для перехода с одного вида транспорта на другой пешем ходом.

Транспортное удаление остановочных пунктов по продолжительности и времени или расстоянию должно укладываться в 15 мин или 1 км [2]. Используя графический метод можно определить количество остановочных пунктов, попадающих в радиус комфортной шаговой доступности для пассажира – 600 м с шагом 100 м от крупного ТПУ. На рис. 2 показан пример определения количества пунктов, попавших в зону радиуса [10].

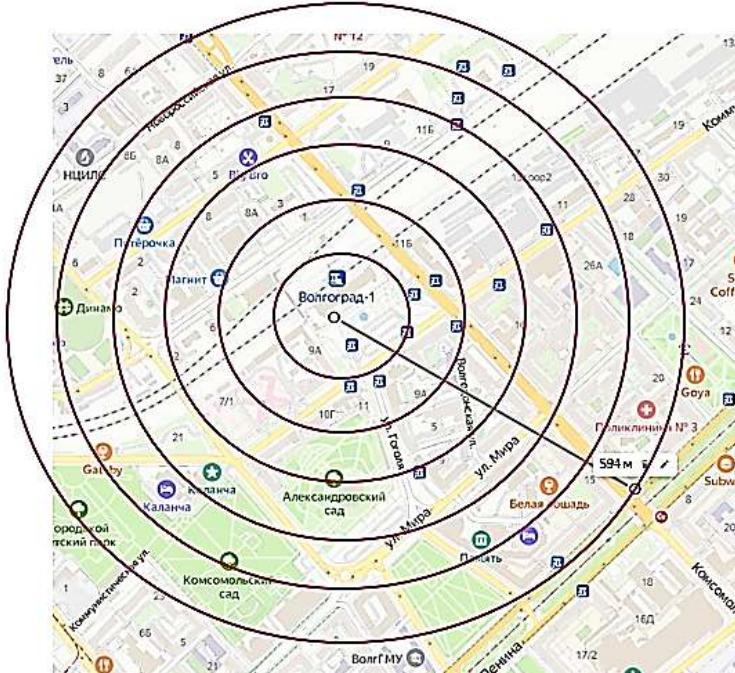


Рисунок 2 – ТПУ ЖД вокзал «Волгоград-1» (Центральный район)

В таблице 1 представлены все виды взаимодействующего транспорта и перехватывающие парковки в ТПУ ЖД вокзал «Волгоград-1».

Таблица 1 – Остановочные пункты ГПТ и перехватывающие парковки в ТПУ

Вид транспорта	Радиус действия, м					
	0-100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-600
Автобус	-	3	-	2	2	5
Маршрутное такси	1	4	2	4	1	4
Троллейбус	-	-	-	1	-	4
Трамвай	-	-	-	-	-	-
Метротрам	-	-	-	-	-	1
Электропоезд	1	-	-	-	-	-
Парковка	1	1	-	1	-	-

Центром ТПУ является ЖД вокзал Волгоград-1 – крупный транспортный узел пригородного и междугороднего сообщения. Узел оснащен большим количеством остановочных пунктов ГПТ, перехватывающими парковками, находится вблизи парков и учебного заведения.

### Результаты и обсуждение

Рассматривая г. Волгоград как единую транспортную систему можно выделить основные ТПУ, в которых осуществляется взаимодействие различных транспортных систем.

Количество ТПУ в городе определяется остановочными пунктами электропоезда, крупными узловыми остановочными пунктами автобусных маршрутов, крупными торговыми центрами и наличием перехватывающих парковок (рис. 3).



Рисунок 3 – Предлагаемое местоположение мультимодальных ТПУ г. Волгограда

Модель ТПУ представлена в виде графа: вершины – новые мультимодальные ТПУ, которые необходимо доработать до соответствующего уровня для обеспечения эффективной работы ГПТ, например, возможен сдвиг остановочных пунктов к центру узла либо их совмещение в более крупные, а ребра – участки улично-дорожной сети автомобильного транспорта, по которым проложены маршруты ГПТ. В таблице 2 по каждому району показано количество ТПУ, наличие различных видов ГПТ, а также наличие перехватывающих парковок.

В транспортной системе г. Волгограда можно выделить 29 основных ТПУ, в которых происходит взаимодействие различных видов ГПТ. Проанализировав существующие ТПУ можно отметить, что по районам города они размещены неравномерно: в Тракторозаводском – 4 ед.; Краснооктябрьском – 2 ед.; Дзержинском – 4 ед.; Центральном – 7 ед.; Ворошилов-

ском – 2 ед.; Советском – 5 ед.; Кировском – 2 ед.; Красноармейском – 3 ед. Расположение ТПУ связано с количеством населения, проживающим в районе и зависит от значимости района (промышленной, культурной и др.).

Таблица 2 – Транспортно-пересадочные узлы г. Волгограда

Название района города	Основные транспортно-пересадочные узлы	Взаимодействующие виды транспорта							
		М <sub>т</sub>	А	Т <sub>1</sub>	Т <sub>2</sub>	МТ	ЭП	ВТ	П
Тракторозаводской	Пересечение 1-й и 2-й Продольной магистрали	+	+	-	-	-	-	-	-
	Новая Спартановка	+	+	+	-	-	-	-	-
	Рынок ТЗР	+	+	+	-	+	+	-	+
	ТРЦ «Семь звезд»	+	+	+	-	+	+	-	+
Краснооктябрьский	Завод «Баррикады»	+	+	+	-	+	+	-	+
	Завод «Красный Октябрь»	+	+	+	+	+	+	-	+
Дзержинский	Аэропорт «Гумрак»	+	+	-	-	-	+	-	+
	Ул. Землячки (Больница скорой помощи № 25)	+	+	+	-	-	-	-	+
	ТРК «Мармелад»	+	+	-	-	-	-	-	+
	Пересечение 3-й Продольной магистрали и просп. Маршала Жукова	+	+	+	+	-	-	-	-
Центральный	Центральный стадион «Волгоград-Арена»	+	+	+	-	+	+	-	+
	Волгоград-Сити (пересечение ул. Хирошимы и ул. Рокоссовского)	+	+	-	-	-	+	-	+
	Площадь им. В.И. Ленина	+	+	+	-	+	-	-	+
	Центральный автовокзал г. Волгограда	+	+	+	-	-	+	-	+
	Речпорт г. Волгограда	+	+	-	-	-	-	+	+
	ЖД вокзал «Волгоград-1»	+	+	+	-	+	+	-	+
Ворошиловский	Ул. Комсомольская	+	+	+	-	+	-	-	+
	ТЦ «Ворошиловский»	+	+	+	+	+	-	-	+
Советский	ЖД станция «Волгоград-2»	+	+	+	+	+	+	-	+
	Поселок «Горьковский»	+	+	-	-	-	+	-	-
	Университет «ВолГАУ»	+	+	-	-	-	-	-	-
	Мкр. «Тулака»	+	+	+	-	+	-	-	-
	Мкр. «Родниковая долина»	+	+	-	-	-	-	-	+
Кировский	ТРЦ «Акварель» и университет «ВолГУ»	+	+	-	-	-	+	-	+
	ЖК «Санаторный»	+	+	-	-	-	-	-	+
Красноармейский	Дом культуры «Авангард»	+	+	-	-	-	-	-	-
	Автовокзал «Южный»	+	+	-	-	-	-	-	+
	Комплекс «Юбилейный»	+	+	-	+	-	+	-	+
	Клуб «Строитель»	+	+	-	+	-	-	-	-

\*Обозначение: М<sub>т</sub> – маршрутное такси; А – автобус; Т<sub>1</sub> – троллейбус; Т<sub>2</sub> – трамвай; МТ – метротрам; ЭП – электропоезд; ВТ – водный транспорт; П – перехватывающая парковка.

Представленные ТПУ города обеспечивают взаимодействие различных видов ГПТ. В них пассажир может осуществить пересадку с одного вида транспорта на другой. Развивающиеся информационные технологии на транспорте в среде умного города позволяют обеспечить режимы совместной работы различного транспорта – мультимодальность перевозок и информировать об этом пассажиров [11-13]. На рисунке 4 представлен пример расположения мультимодальных ТПУ на схеме маршрутов трамвая г. Волгограда.

На рисунке 5 представлена модель транспортной сети для мультимодальных перевозок пассажиров. Каждая вершина модели сети имеет свои характеристики, краткие характеристики ТПУ представлены в выносных таблицах.



Рисунок 4 – Схема маршрутов трамвая г. Волгограда

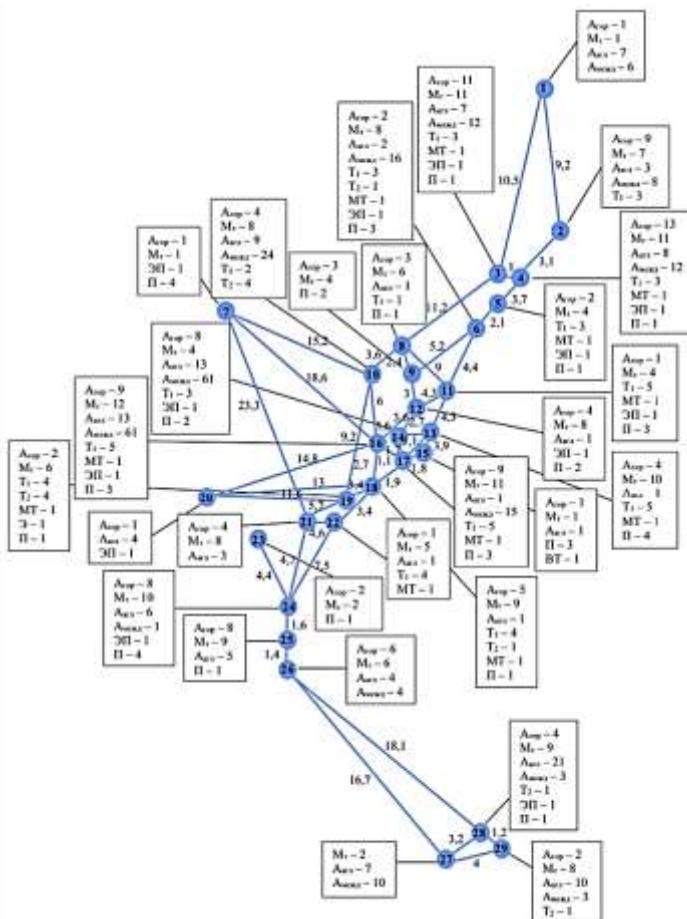


Рисунок 5 – Схема мультимодальной транспортной сети г. Волгограда

Результирующая таблица 3 представляет собой виды транспортных систем, количество остановочных пунктов и ТПУ.

Таблица 3 – Результаты распределения количества маршрутов по мультимодальным ТПУ

Наименование транспортной схемы	Год	Количество остановочных пунктов, ед.	Количество мультимодальных ТПУ, ед.	Количество маршрутов в мультимодальных ТПУ, ед.							
				1	2	3	4	5	6	7	8
Маршруты трамвая	2023	108	14	10	2	-	1	1	-	-	-
Маршруты троллейбуса	2023	104	15	3	-	4	3	4	-	-	-
Маршруты электропоезда	2023	43	13	1	-	4	1	1	1	-	5

Все 29 мультимодальных ТПУ включает в себя комплексная транспортная схема г. Волгограда (рис. 6).



Рисунок 6 – Комплексная транспортная схема с ТПУ г. Волгограда

### Выводы

В Российской Федерации за последние несколько лет происходит снижение пассажиропотока на ГПТ. В 2020 г. отмечается самый низкий показатель за последние 20 лет, небольшой рост происходит в 2021-2022 гг. Совершенствование организации мультимодальных пассажирских перевозок позволит сформировать эффективную систему транспортного обслуживания населения и привлечь его внимание к регулярному использованию ГПТ. Ежедневно 25 % населения г. Волгограда пользуются ГПТ. По данным Волгоградстата за 2023 г. перевезено более 90 млн. пасс.: 52 % – электротранспортом, 45 % – автобусом, 3 % – водным транспортом. В г. Волгограде предлагается организовать 29 мультимодальных ТПУ: в Тракторозаводском – 4 ед.; Краснооктябрьском – 2 ед.; Дзержинском – 4 ед.; Центральном – 7 ед.; Ворошиловском – 2 ед.; Советском – 5 ед.; Кировском – 2 ед.; Красноармейском – 3 ед. Через разработанные мультимодальные ТПУ возможно перестраивать транспортные сети каждого вида транспорта, изменения характеристики всей транспортной системы ГПТ в целом. Трамвайная сеть содержит 108 остановочных пунктов, из них 14 мультимодальных; троллейбусная – 104 ед., мультимодальных – 15 ед.; электропоезд – 43 ед., мультимодальных – 13 ед.; автобусная – 587 ед., мультимодальных – 29 ед. Разработанная мультимодальная схема транспортной сети г. Волгограда ориентирована на использование всех видов ГПТ с выходом на транспорт агломерации. Возможность организации мультимодальных перевозок пассажиров по разработанной сети представлено в работе «Перспективы "бесшовных" перевозок пассажиров в транспортных системах российских городов-миллионников (на примере Волгограда)» [1]. В статьях [14-16] разработаны методы оптимизации парка подвижного состава и со-

вершенствования организации перевозок пассажиров на городских маршрутах общественного транспорта за счет формирования эффективной маршрутной сети. Трансформация и совершенствование транспортной системы ГПТ, внедрение цифровой инфраструктуры и телематических систем позволят обеспечить слаженную работу ГПТ и взаимосвязь участников мультимодального транспортного процесса.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Куликов А.В., Миротин Л.Б., Вальковская А.А. Перспективы «бесшовных» перевозок пассажиров в транспортных системах российских городов-миллионников (на примере Волгограда) // Социология города. 2022. №1-2. С. 93-116.
2. Пассажирские автомобильные перевозки: учебник для вузов / В.А. Гудков, Л.Б. Миротин, А.В. Вельможин и др. Москва: Горячая линия – Телеком, 2006. 488 с.
3. Официальная статистика [Электронный ресурс] / Федеральная служба государственной статистики: офиц.сайт. URL: <https://rosstat.gov.ru>.
4. Абарова Н.С. Опыт развития мультимодальных перевозок пассажиров в России // Техника и технология транспорта. 2020. №2(17). 11 с.
5. Официальная статистика [Электронный ресурс] / Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Волгоградской области: офиц.сайт. URL: <https://34.rosstat.gov.ru>.
6. Автобусные остановки в Волгограде на карте [Электронный ресурс]. URL: <https://2gis.ru/volgograd/search/>.
7. Маршруты и расписание. МетроЭлектроТранс: офиц. сайт [Электронный ресурс]. URL: <https://gortransvolga.ru/routes/>.
8. Справочник маршрутов Волгограда [Электронный ресурс]. URL: <https://wikiroutes.info/volgograd/catalog>.
9. СП 395.1325800.2018. Транспортно-пересадочные узлы. Правила проектирования: издание официальное. Москва: Минстрой России, 2018. 26 с.
10. Куликов А.В., Вальковская А.А. Возможность применения телематических систем в узлах взаимодействия пассажирского транспорта города-миллионника на примере г. Волгограда // Прогрессивные технологии в транспортных системах: XVIII Международная научно-практическая конференция. Оренбург: ФГБОУ ВО «Оренбургский гос. университет». 2023. С. 224-231.
11. Власов В.М. Цифровая инфраструктура как основа функционирования наземного городского пассажирского транспорта // Автотранспортное предприятие. 2016. №12. С. 3-7.
12. Власов В.М., Ефименко Д.Б., Богумил В.Н. Применение цифровой инфраструктуры и телематических систем на городском пассажирском транспорте: учебник. Москва: ИНФРА-М, 2021. 352 с.
13. Власов В.М., Ефименко Д.Б., Богумил В.Н. Транспортная телематика в дорожной области: учеб. пособие. Москва: МАДИ, 2013. 80 с.
14. Куликов А.В., Кашманов Р.Я., Карагодина А.Н. Оптимизация структуры автобусного парка для пригородных и междугородных перевозок пассажиров // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: Наземные транспортные системы. 2014. Т. 9. №19(146). С. 55-57.
15. Куликов А.В., Фирсова С.Ю., Горина В.В. Совершенствование пассажирских перевозок в центральной части города Волгограда // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: Наземные транспортные системы. 2015. Т. 10. №4(162). С. 78-83.
16. Куликов А.В., Советбеков Б., Сайдкамолов И.Р.У. Совершенствование организации перевозок пассажиров на городских маршрутах общественного транспорта за счет эффективного формирования маршрутной сети // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2021. Т. 21. №8. С. 51-57. DOI 10.36979/1694-500X-2021-21-8-51-57.

**Куликов Алексей Викторович**

Волгоградский государственный технический университет

Адрес: 400005, Россия, г. Волгоград, ул. Ленина, 28

К.т.н., доцент. каф. «Автомобильные перевозки»

E-mail: v2xoda@ya.ru

A.V. KULIKOV

## **DEVELOPMENT OF A MODEL OF A MULTIMODAL PASSENGER TRANSPORTATION NETWORK, ON THE EXAMPLE OF VOLGOGRAD**

**Abstract.** The article analyzes the indicators of the functioning of the urban passenger transport system using the example of a million-plus city. The number of routes and the volume of passengers transported in 2023 in Volgograd has been determined. It is proposed to develop 29 large transport hubs on the territory of the city, ensuring the interaction of various passenger transport for multimodal transportation. Multimodal transport hubs are formed on the basis of a previously developed methodology. The scheme of the transport network model is represented by the interaction of urban passenger transport on the territory of Volgograd in the form of vertices and edges. The paper examines the distribution of routes by transport hubs. A model of the transport network has been developed that characterizes the relationship of multimodal transport hubs with all types of urban passenger transport. The possibility of organizing multimodal transportation on the developed network is considered.

**Keywords:** transport network, multimodal transportation, urban passenger transport, passengers, transport hubs, route network, trolleybus, tram, electric train, bus, diagram, model

## BIBLIOGRAPHY

1. Kulikov A.V., Mirotin L.B., Val'kovskaya A.A. Perspektivnye «besshovnykh» perevozok passazhirov v transportnykh sistemakh rossiyskikh gorodov-millionnikov (na primere Volgograda) // Sotsiologiya goroda. 2022. №1-2. S. 93-116.
2. Passazhirskie avtomobil'nye perevozki: uchebnik dlya vuzov / V.A. Gudkov, L.B. Mirotin, A.V. Vel'mozhin i dr. Moskva: Goryachaya liniya - Telekom, 2006. 488 s.
3. Ofitsial'naya statistika [Elektronnyy resurs] / Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki: ofits.sagt. URL: <https://rosstat.gov.ru>.
4. Abarova N.S. Opyt razvitiya mul'timodal'nykh perevozok passazhirov v Rossii // Tekhnika i tekhnologiya transporta. 2020. №2(17). 11 s.
5. Ofitsial'naya statistika [Elektronnyy resurs] / Territorial'nyy organ Federal'noy sluzhby gosudarstvennoy statistiki po Volgogradskoy oblasti: ofits.sagt. URL: <https://34.rosstat.gov.ru>.
6. Avtobusnye ostanovki v Volgograde na karte [Elektronnyy resurs]. URL: <https://2gis.ru/volgograd/search/>.
7. Marshrutnye i raspisaniye. MetroElektroTrans: ofits. sayt [Elektronnyy resurs]. URL: <https://gortransvolga.ru/routes/>.
8. Spravochnik marshrutov Volgograda [Elektronnyy resurs]. URL: <https://wikiroutes.info/volgograd/catalog>.
9. SP 395.1325800.2018. Transportno-peresadochnye uzly. Pravila proektirovaniya: izdanie ofitsial'noe. Moskva: Minstroy Rossii, 2018. 26 s.
10. Kulikov A.V., Val'kovskaya A.A. Vozmozhnost' primeneniya telematiceskikh sistem v uzlakh vzaimodeystviya passazhirskogo transporta goroda-milionnika na primere g. Volgograda // Progressivnye tekhnologii v transportnykh sistemakh: XVIII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya. Orenburg: FGBOU VO "Orenburgskiy gos. universitet". 2023. S. 224-231.
11. Vlasov V.M. Tsifrovaya infrastruktura kak osnova funktsionirovaniya nazemnogo gorodskogo passazhirskogo transporta // Avtotransportnoe predpriyatiye. 2016. №12. S. 3-7.
12. Vlasov V.M., Efimenko D.B., Bogumil V.N. Primenenie tsifrovoy infrastruktury i telematiceskikh sistem na gorodskom passazhirskom transporte: uchebnik. Moskva: INFRA-M, 2021. 352 s.
13. Vlasov V.M., Efimenko D.B., Bogumil V.N. Transportnaya telematika v dorozhnoy oblasti: ucheb. posobie. Moskva: MADI, 2013. 80 s.
14. Kulikov A.V., Kashmanov R.YA., Karagodina A.N. Optimizatsiya struktury avtobusnogo parka dlya prigrodnykh i mezhdugorodnykh perevozok passazhirov // Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Nazemnye transportnye sistemy. 2014. T. 9. №19(146). S. 55-57.
15. Kulikov A.V., Firsova S.YU., Gorina V.V. Sovershenstvovanie passazhirskikh perevozok v tsentral'noy chasti goroda Volgograda // Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Nazemnye transportnye sistemy. 2015. T. 10. №4(162). S. 78-83.
16. Kulikov A.V., Sovetbekov B., Sayidkamolov I.R.U. Sovershenstvovanie organizatsii perevozok passazhirov na gorodskikh marshrutakh obshchestvennogo transporta za schet effektivnogo formirovaniya marshrutnoy seti // Vestnik Kyrgyzsko-Rossiyskogo Slavyanskogo universiteta. 2021. T. 21. №8. S. 51-57. DOI 10.36979/1694-500X-2021-21-8-51-57.

### Kulikov Alexey Viktorovich

Volgograd State Technical University  
Address: 400005, Russia, Volgograd, Lenin str., 28  
Candidate of Technical Sciences  
E-mail: v2xoda@ya.ru

## ЭКСПЛУАТАЦИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Научная статья

УДК: 656.135

doi:10.33979/2073-7432-2024-4-3(87)-45-54

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

# АНАЛИЗ РЕЗЕРВОВ ВОЗМОЖНОСТЕЙ БЕЗРАЗБОРНЫХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

*Аннотация. В работе рассматриваются методы безразборной диагностики систем и агрегатов грузовых автомобилей, а также способы расширения их функциональных возможностей применением дополнительных электронных систем, позволяющие осуществлять постоянный сбор и анализ информации о диагностируемых параметрах, и формировать на их основе решения о заготовленных ремонтных или регулировочных вмешательствах не допуская отказов. Установлено, использование системы постоянного сбора и анализа информации о диагностируемых параметрах снижает количество неисправностей, переходящих в отказы, а также снижает время простоем автомобилей на ремонте и отдельных мероприятий диагностики.*

**Ключевые слова:** грузовые автомобили, диагностика, безразборные методы диагностики, предупреждение неисправностей

### Введение

Эксплуатация автомобильного транспорта характеризуется разнообразием условий эксплуатации, режимов нагружения автомобилей, а также различающимися условиями возможностей организации своевременных и достаточных по своему объему диагностических и ремонтных мероприятий. Согласно результатам статистических исследований, проводимых в различных странах, распределение отказов по системам грузовых автомобилей имеет различающийся характер, зависящий от специфики условий эксплуатации грузовых автомобилей, специфики рассматриваемых марок автомобилей и присущего им уровня изначальной надежности, а также общего состояния парка грузовых автомобилей, характеризуемых такими параметрами как возраст, наработка в мото-часах или пробег и других показателей [1]. В качестве примера, ниже приведены данные исследований статистики поломок и отказов грузовиков в Европе (табл. 1), проведенных всеобщим немецким автоклубом ADAC (Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V.) со штаб-квартирой в Мюнхене. Статистика была собрана службой оказания оперативной технической помощи на дороге ADAC Truck-Service.

Таблица 1 - Распределение отказов грузовых автомобилей, Европа

Причины отказа	Доля отказов, приходящаяся на данную систему, %
Неисправности электрооборудования	30,2%
Неисправности шин	27,4%
Неисправности двигателя	21,9%
Неисправности тормозной системы	5,8%
Неисправности карданных передач	3,9%
Неисправности кузова	2,8%
Недостатки по вине сервисных служб	2,8%
Неисправности коробки передач	2,6%
Неисправности шасси	2,5%
Неисправности холодильных установок	0,1%

На рисунке 1 показано распределение отказов по различным системам грузовых автомобилей в Европе. Первое место приходится на долю отказов электрооборудования (показатель 30,2 %), на втором месте отказы, связанные с неисправностями шин (27,4 %), на третьем отказы двигателя и его систем - 21,9 %.

Пример сбора статистики поломок и отказов грузовиков в России (2) приведен в таблице 2.



Рисунок 1 – Распределение причин отказов автомобилей в Европе

Таблица 2 – Распределение отказов автомобилей КАМАЗ

Система, явившаяся причиной отказа	Доля отказов, приходящаяся на данную систему, %
	Автомобили Камаз
Двигатель	22
Электрооборудование	8
Ходовая часть	12
Колеса	16
КПП	4
Сцепление	6
Мосты	5
Карданный вал и прочее	2
Рулевое управление	6
Тормозная система	13
Кабина и рама	5
Прочее	1

На рисунке 2 показано распределение отказов по системам автомобилей Камаз в России. На первом месте по отказам двигатель и его системы. Сравнительный анализ статистики отказов грузовых автомобилей в Европе и России показывает, что несмотря на некоторые отличия, в целом очень близок процент отказов, приходящийся на двигатель. Как в Европе, так и в России этот показатель находится в пределах 22 %.

Также можно отметить, что в Европе сравнительно выше процент отказов, связанных с неисправностями в электрооборудовании и электроники 30,2% в Европе и до 8% в России. Предположительно, такое отличие обусловлено более высокой оснащенностью современных европейских грузовых автомобилей различными электрическими и электронными системами, наличие которых способствует их усложнению и как следствие увеличению доли неисправности, приходящейся на эти системы. Однако грузовой парк России по мере своего совершенствования при разработке новых моделей грузовиков также стремительно внедряет все более сложные электрические и электронные системы.

Такой подход дает и свои неоспоримые преимущества, так как чем более развита электронная система управления агрегатами и системами автомобиля, тем большее количество параметров поддается контролю, диагностике и анализу, тем всё более возрастает потенциал по увеличению надежности автомобиля в целом за счет своевременного принятия решений по поиску причин неисправностей и отказов, а также по их предупреждению [2].



Рисунок 2 – Распределение причин отказов автомобилей Камаз в России

По мере роста возможностей электронной диагностики и самодиагностики многих систем автомобиля, время на поиск неисправностей в этих системах и их устранение постоянно сокращается, но при этом лимитирующим фактором остается диагностика механических, гидравлических и прочих систем автомобиля, электронная диагностика которых не предусмотрена в конкретном автомобиле или вообще является довольно трудно осуществимым мероприятием в принципе, ввиду специфики устройства системы, что в свою очередь нивелирует положительный эффект от внедряемых электронных систем [3, 4]. Это является серьёзным препятствием на пути сокращения суммарных временных и финансовых затрат на диагностику и ремонт с использованием электронных диагностических процедур. Особую актуальность получает развитие методов безразборной диагностики механических и иных систем автомобилей с применением как известных ранее методов, так и разработки новых, связанных в том числе с внедрением либо дополнительных электронных систем, либо модификации функционала уже имеющихся систем, до такого уровня, чтобы появлялась возможность производить сбор и анализ данных в этих системах, для того, чтобы эффект от внедрения современных электронных систем был всеобъемлющим и ощутимым, приводящим к ликвидации лимитирующих факторов диагностики, тем самым сокращая время простоев на ремонт и диагностические мероприятия, а также обеспечивая снижение количества отказов по причине их заблаговременного прогнозирования или предупреждения [5-8].

### Материал и методы

При проведении диагностики грузовых автомобилей используются следующие методы не требующие разборки:

- 1) метод визуального осмотра. Позволяет диагностировать состояние видимых при осмотре элементов кузова, рамы, кабины, подвески, шин, тормозных и топливных магистралей, жгутов электропроводки, а также двигателя и агрегатов трансмиссии;
- 2) проверка на герметичность агрегатов и систем по косвенным признакам (отсутствие следов жидкостей на поверхности агрегатов, видимого каплепадения) позволяет подтвердить отсутствие утечек рабочих жидкостей;
- 3) проверка уровней технических жидкостей и их внешнего вида и запаха в узлах и агрегатах позволяет косвенно определять их техническое состояние;
- 4) диагностика различных систем двигателя, измерение компрессии, проверка исправной работы системы зажигания, определение уровня шумов и вибраций от механизмов двигателя;
- 5) диагностика электрических и электронных систем автомобиля, а также проверка плотности электролита аккумуляторной батареи, проверка ошибок в системе самодиагностики;

6) анализ выхлопных газов. Изучение состава выхлопных газов и сопоставление его с нормативным, выявление признаков неисправностей систем двигателя;

7) диагностика топливной системы. Визуальный осмотр элементов системы питания на предмет подтеканий топлива, состояние загрязнений в топливе, чистота топливных фильтров и влагоотстойников или адсорбера, параметры подачи топлива, производительность и давление с помощью диагностических приборов;

8) диагностика элементов подвески: пружин, рессор, рычагов, торсионов, шарниров, амортизаторов, пневмоэлементов и т.д. Производятся проверки как визуально, так и с применением измерительных средств и диагностического оборудования для установления соответствия или нарушения параметров работы подвески;

9) диагностика тормозной системы. Визуальная проверка состояния тормозных трубок, шлангов, главных и рабочих цилиндров на отсутствие подтеканий, уровень тормозной жидкости в бачке. Проверка компрессора, ресиверов и воздушных магистралей. Измерение степени износа тормозных колодок, барабанов и дисков. Проверка регулировочных параметров и рабочих параметров (давление воздуха, скорость снижения давления воздуха и др.);

10) органо-лептический метод, применяется как предварительный перед дальнейшими более точными методами диагностики так и как основной в случае определения характеристик поверхностей на ощупь, температуры нагрева агрегатов, интенсивности звуков на слух, вибрацию на ощупь, качество и дефекты лакокрасочного покрытия визуально и т.д.

### Теория и расчет

Достоверность результатов данных методов диагностики может быть оценена на основе закона нормального распределения, применяемого также при вычислении надежности объектов, для которых характерен износ при работе:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(n-N_0)^2}{2\sigma^2}}. \quad (1)$$

где  $n$  – количество измерений;

$N_0$  - среднего значения количества измерений до ошибки;

$\sigma$  - среднеквадратичного отклонения измерений до ошибки.

В формуле (1) отображена функциональная зависимость плотности вероятности безошибочности результата диагностики от количества измерений.

В формуле (2) отображена функциональная зависимость вероятности безошибочных измерений при диагностике.

$$P(t) = \Phi\left(\frac{n-N_0}{\sigma}\right), \quad (2)$$

где  $n$  – время работы;

$N_0$  - среднего значения количества измерений до ошибки;

$\sigma$  - среднеквадратичного отклонения измерений до ошибки;

$\Phi$  – табулированный интеграл Лапласа.

В данной работе рассмотрен один из вариантов расширения возможностей методов диагностики на примере диагностирования различных систем ДВС и сравнение результативности этих методов с применяемыми ранее [9-11]. Ввиду обширности возможных неисправностей и соответствующих для них определения методов диагностики, в целях разумного ограничения объемов исследования для наглядности результатов применения диагностических методов с расширенным функционалом исследование было ограничено рамками предупреждения отказов, связанных только со снижением компрессии двигателей автомобилей КАМАЗ, иные неисправности и отказы не рассматривались.

Двигатель, как один из наиболее сложных агрегатов автомобиля состоит из большого количества систем и его диагностика также предполагает несколько различных методов [12, 13]. Были рассмотрены основные методы диагностики, выявляющие наличие признаков неисправностей, связанных со снижением компрессии не требующий разборки ДВС:

Измерение компрессии - этот метод заключается в измерении давления, создаваемого

поршнем в цилиндре при его движении вверх в конце такта сжатия. Низкая компрессия может указывать на износ поршневых колец, клапанов или повреждение прокладки головки блока цилиндров, в более редких случаях на прогорание поршня, трещины в гильзах блока цилиндров. Обычно проверку компрессии проводят на заглушенном двигателе поочередно подключая манометр к отдельным цилиндрам двигателя и вращая коленчатый вал стартером, при этом свечи (в случае карбюраторного или инжекторного бензинового двигателя) или форсунки дизеля должны быть демонтированы. Трудоемкость этой процедуры занимает порядка 3,5 ч для двигателя модельного ряда КАМАЗ 740 и его разновидностей [14, 15]. Одновременно с этим многие современные алгоритмы блоков электронного управления двигателем, устанавливаемые на дизельные двигатели 4-го и 5-го экологических классов, оборудованных системой впрыска COMMON RAIL, имеют функциональную возможность измерения вклада работы отдельного цилиндра (баланс мощности) в работу всего двигателя, а также определять другие функции, косвенно определяющие параметры эффективности работы двигателя. Поток данных, оцениваемый блоком управления двигателем, постоянно анализируется и в случае выхода значений параметров за нормируемые пределы, ЭБУ двигателя формирует код ошибки и информирует о наличии признака неисправности подачей соответствующего сигнального оповещения. Однако само по себе наличие признака неисправности не указывает на наличие неисправности и не гарантирует ее подтверждение, так как требует диагностического вмешательства специалиста с необходимым уровнем компетенций, что в ряде случаев невозможно или затруднено (удаленность от специализированных сервисных предприятий, отсутствие технической поддержки по ряду автомобильных систем иностранного производства ввиду санкционных ограничений) [16-18]. Но в случае применения дополнительных устройств с расширенными функциями как диагностики, так и накопления статистических данных и их обработки, а также алгоритма постоянного анализа данных от рассматриваемой системы появляется возможность с высокой достоверностью предполагать наличие конкретной неисправности автоматизированным способом. В таблице 3 приведен сравнительный анализ диагностических методов.

Таблица 3 - Сравнение методов диагностики компрессии

Сравниваемый параметр	Замер компрессии манометром	При определении диагностических параметров электронным блоком управления
Компрессия	Прямое измерение	Нет прямых измерений
Пропуск воспламенения смеси	Не определяется	Определяется
Вклад цилиндра в работу двигателя, %	Можно определить только разность компрессии	Определяется. Разность компрессии по цилиндрам оценивается косвенно
Затраты времени на проведение процедуры	3,5 ч (для двигателя КАМАЗ 740)	Нет затрат времени на отдельную процедуру, производится постоянно при работающем двигателе
Результат диагностики	Давление компрессии	Частоты вращения коленчатого вала на такте рабочего хода для каждого цилиндра
Периодичность измерения	Периодически	Постоянно, при работе
Необходимость остановки автомобиля	Да	Нет

Анализ таблицы 3 дает возможность сделать вывод, что по сравнению с методом прямого измерения компрессии электронный способ определения баланса работы цилиндров не может определять непосредственно саму компрессию, но при этом данный способ может косвенно свидетельствовать об отсутствии или наличии неисправностей в каком-либо из цилиндров, сравнивая его показатели с показателями работы других цилиндров. Поскольку вероятность появления неисправностей одновременно во всех цилиндрах двигателя с одновременным изменением их параметров на одинаковую величину крайне низка, данный метод может являться достаточным средством раннего диагностирования для предупреждения проявления признаков неисправностей, связанных со снижением компрессии как в отдельном цилиндре, так и во всех. Быстродействие определения признаков неисправности и постоянный режим работы алгоритма дают возможность своевременного реагирования и принятия

мер по предупреждению отказа по сравнению со случаем периодического контроля компрессии, при этом сокращается время простоя по причине отсутствия необходимости операций по проверке компрессии до 3,5 часов, а также сокращается трудоемкость выполнения диагностических работ, а работы предупредительного характера сводятся больше к регулировочным и снижается количество ремонтов с заменой запчастей.

### **Результаты и обсуждение**

Исследование проводилось в парках автомобилей дорожно-строительных организаций и коммунальных служб г. Белгорода в 2022-2023 годах. Рассматриваемые парки автомобильной техники в значительной мере представлены автомобилями Камаз различных годов выпуска. В Исследовании участвовали только автомобили 4-го и 5-го экологических классов, так как на этих автомобилях применяется современная электронная система управления двигателем с развитыми функциональными возможностями электронной самодиагностики, которая в свою очередь также является удобной базой для расширения функционала диагностических функций автомобиля, рассматриваемых в данном исследовании. Полученные результаты исследования отражены в таблице 4.

В ходе анализа статистики (фрагмент статистического исследования приведен в таблице 4 отказов автомобилей Камаз парка автомобилей дорожно-строительных организаций г. Белгорода в период за 2022 - 2023 г. было установлено:

В 2022-ом году было зафиксировано 6982 случаев всех отказов автомобилей, из них 1535 (21,9%) отказов было по причине неисправностей двигателя, 327 отказов приходилось на детали двигателей и были связаны со снижением компрессии в цилиндрах, что составляет 4,68% от всех отказов автомобиля.

Таблица 4 - Фрагмент данных исследования статистики отказов парка автомобилей Камаз, г. Белгород 2022-2023 гг.

Неисправность	2022 год	2023 год
Все виды неисправностей	6982	7081
Все виды неисправностей, перешедшие в отказы	6982	6998
Неисправности двигателя	1535	1564
Неисправности двигателя, перешедшие в отказы	1535	1481
Неисправности, связанные со снижением компрессии (все)	327	335
Неисправности, связанные со снижением компрессии (все), перешедшие в отказы	327	254
Неисправности, связанные со снижением компрессии, постепенно прогрессирующие, имелась возможность заблаговременно определить электронными диагностическими методами	107	112
Неисправности, связанные со снижением компрессии, постепенно прогрессирующие, имелась возможность заблаговременно определить электронными диагностическими методами, перешедшие в отказы	107	29
Заблаговременно принятые меры благодаря расширенному диагностическому функционалу, отказы не допущены	-	83

Из них 107 (1,53 % от всех отказов автомобиля или 6,98 % от всех отказов двигателя) являлись постепенно прогрессирующими и могли определяться заблаговременно электронными диагностическими методами, однако в 2022-ом году такой функциональной возможности не было.

В 2023 году в парке автомобилей Камаз после проведения ряда мероприятий расширения функциональных возможностей диагностирования электронными системами с последующей аналитической обработкой массивов данных, и принятий на их основе решений получены следующие результаты: представленные в таблице 3.

В 2023-ом году было зафиксировано 7081 случаев всех отказов автомобилей, Из них 1564 (22,08 %) отказов было по причине неисправностей двигателя, 335 отказов приходилось на детали двигателей и были связаны со снижением компрессии в цилиндрах, что составляет 4,73 % от всех отказов автомобиля.

Из них 112 (1,58 % от всех отказов автомобиля) своевременно удалось предупредить

83 отказа или 74,1 % от всех отказов двигателя, связанных со снижением компрессии, в отношении которых имелась возможность заблаговременного выявления признаков неисправности методами диагностики с расширенным функционалом, не допуская их перехода в отказы (Своевременная регулировка зазоров механизма ГРМ, раскоксовка поршневых колец и др.). В итоге общее количество отказов снизилось на 83 с возможных 7081 до 6998.

Сравнительный анализ результативности методов ранее применяемой диагностики с диагностикой с расширенными функциональными возможностями на основе системы сбора и анализа данных с использованием электронных диагностических средств при определении неисправностей, связанных со снижением компрессии по отношению к методу прямого измерения компрессии на примере парка автомобилей Камаз, дал следующие результаты, которые отображены на рисунках 3 и 4.

На рисунке 3 отображено сравнение количества всех неисправностей парка автомобилей Камаз за 2022 и 2023 год, а также количество неисправностей, которые перешли в отказы. В 2023 году после применения средств диагностики с расширенным функционалом удалось снизить количество неисправностей, перешедших в отказы с 7080 до 6998.

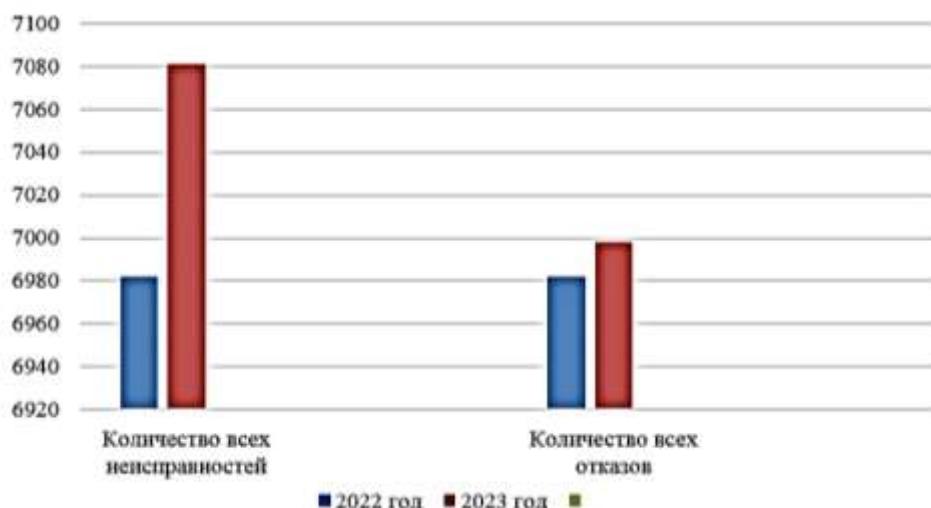


Рисунок 3 – Неисправности и отказы автомобилей КАМАЗ 2022 – 2023гг

На рисунке 4 отображено сравнение количества всех неисправностей двигателя автомобилей Камаз за 2022 и 2023 год, а также количество неисправностей, которые перешли в отказы. В 2023 году применением средств диагностики с расширенным функционалом удалось снизить количество неисправностей, перешедших в отказы с 1564 до 1481.

На рисунке 5 отображено количество неисправностей, связанных со снижением компрессии предупрежденных применением электронных диагностических средств 83 (1,17 % от всех неисправностей 5,3 % от всех неисправностей двигателя или 74,1 % от неисправностей, связанных со снижением компрессии и поддающимся диагностированию электронной системой).

### Выводы

Применение мероприятий расширения функциональных возможностей диагностирования электронными системами с последующей аналитической обработкой массивов данных, и принятий на их основе решений положительно сказалось на уменьшении количества отказов автомобилей на 83, что составило 74,1 % от всех отказов двигателя, связанных со снижением компрессии, в отношении которых имелась возможность заблаговременного выявления признаков неисправности методами диагностики с расширенным функционалом, не допуская их перехода в отказы [19, 20]. Помимо этого, достигнуты следующие показатели:

Среднее время простоя на диагностике и ремонте по причине снижения компрессии, (на 1 автомобиль) по сравнению с применяемыми ранее средствами диагностики, составлявшее 25,6 ч снизилось до 23,08 ч.

Сокращение общего времени простоя применением электронных диагностических средств контроля снижения компрессии достигло 290,5 ч.

Количество отказов по причине снижения компрессии, которое не удалось установить и заранее предупредить до наступления отказа составило 29 вместо 112 возможных.

Неисправности и отказы автомобилей Камаз и их двигателей 2022-2023 гг

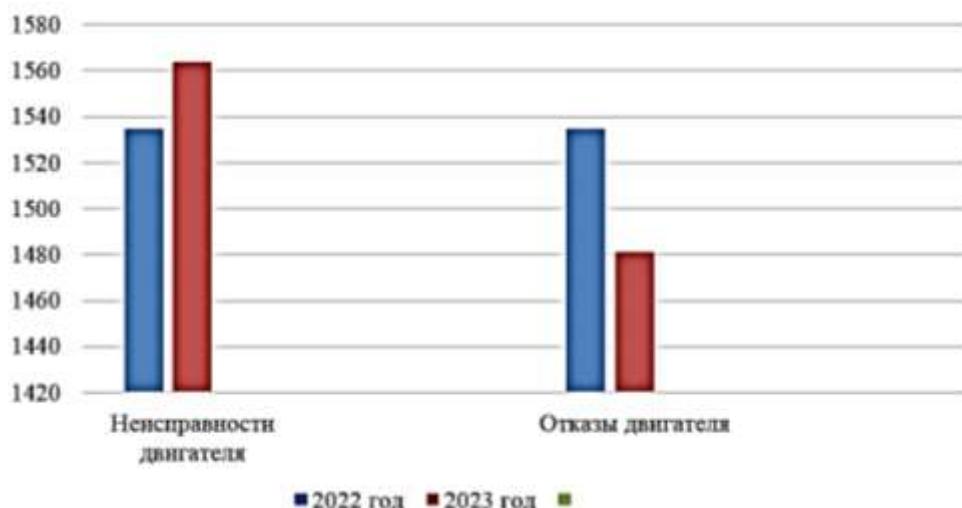


Рисунок 4 – Неисправности и отказы двигателей автомобилей КАМАЗ 2022-2023 гг

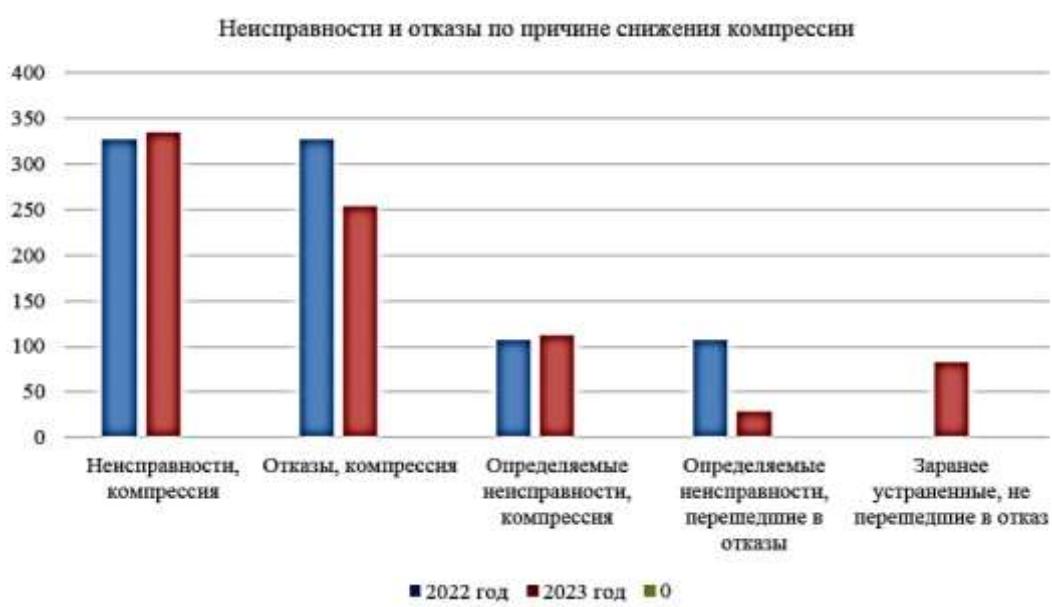


Рисунок 5 – Неисправности и отказы по причине снижения компрессии

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бачинский В.И., Кузминская Е.И. Использование элементов экономико-математического моделирования в управлении производственными затратами горно-обогатительных предприятий // Экономика и управление: анализ тенденций и перспектив развития. 2013. №6. С. 197-201.
2. Гавришев С.Е. Организационно-технологические методы повышения надежности и эффективности работы карьеров: монография. Магнитогорск: МГТУ, 2002. 231 с.
3. Дрыгин М.Ю., Курьшик Н.П. Диагностика состояния тяжелой горной техники при планово-предупредительных ремонтах // Динамика систем, механизмов и машин. 2017. Т. 5. №2. С. 115-122.
4. Захаров Н.С., Теньковская С.А. Влияние наработки и возраста на поток отказов автомобилей [Электронный ресурс] / Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2023. №2. С. 121-129. URL: <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-2-121>.
5. Лепетюха С.В., Якушев А.С. Состояние и перспективы развития технологического автотранспорта

та Лебединского ГОКа // Горный журнал. 2007. №7. С. 25-27;

6. Лубенская О.А., Климова Е.В., Храмцов Б.А., Ростовцева А.А. Оценка аварийности и производственного травматизма при разработке полезных ископаемых открытым способом // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. №1. С. 140-144.

7. Мальцев Д.В., Пестриков С.А., Утробин В.Ю. Влияние условий эксплуатации на надежность грузовых автомобилей на базе шасси КамАЗ // Химия. Экология. Урбанистика. 2019. Т. 2019-2. С. 129-133. EDN: BYLOZF

8. Матвиенко И.В., Ивашко В.С. Исследования надежности автомобилей в процессе их технической эксплуатации // Новости науки и технологий. 2020. №2(53). С. 30-37. EDN: FQBPJL

9. Мусин К.С., Сабралиев Н.С., Адилбеков М.А. Исследование и повышение эксплуатационной надежности грузовых автомобилей // Вестник Алматинского технологического университета. 2018. №3. С. 75-81. EDN: YLWEQP.

10. Насковец А.М., Пархомчик П.А., Егоров А.Н., Шишко С.А., Моисеенко В.И. Современное развитие карьерного транспорта производства ОАО «БЕЛАЗ» // Актуальные вопросы машиноведения. 2018. Т. 7. С. 8-11.

11. Нестеренко А.В., Разгулов С.А., Берестнев Е.Ю., Никулин А.А. Ремонтная служба комбината // Горный журнал. 2017. №5. С. 42-45.

12. Новиков А.Н., Новиков И.А., Загородний Н.А., Семыкина А.С. Разработка научно-методических подходов для повышения эффективности карьерного транспорта // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2020. Т. 17. №6(76). С. 690-703.

13. Петров В.Л., Гончаренко С.Н., Парсегов А.С. Моделирование рисков возникновения простое и аварийных ситуаций технологического оборудования горных предприятий // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. №12. С. 283-292.

14. Зырянов И.В. Методы повышения надежности систем карьерного автотранспорта в экстремальных условиях эксплуатации. СПб., 2003. 120 с.

15. Корчагин В.А., Шатерников В.С., Шатерников М.В. Определение оптимальной стратегии ремонтного обслуживания двигателя ЯМЗ-240Н // Автотранспортное предприятие. 2014. №10. С. 35-39.

16. Рахмангулов А.Н., Гавришев С.Е., Грязнов М.В. и др. Управление развитием горнодобывающего предприятия. Информационные модели и методы: монография. Магнитогорск: МГТУ, 2002. 245 с.

17. Семыкина А.С., Загородний Н.А. Совершенствование транспортной системы горно-обогатительных комбинатов // Автомобильная промышленность. 2019. №6. С. 31-34.

18. Семыкина А.С., Загородний Н.А., Новиков А.Н. Замена изношенных элементов восстановленными на карьерных АТС // Автомобильная промышленность. 2022. №2. С. 31-34.

19. Мариев П.Л., Кулешов А.А., Егоров А.Н., Зырянов И.В. Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы. СПб.: Наука, 2004. 429 с.

20. Тариков Д.Ш., Корнилов С.Н. Анализ производственной деятельности горнодобывающего предприятия и разработка методики оптимизации транспортно – грузового комплекса // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. Магнитогорск: Магнитогорск. гос. техн. ун-т им. Г.И. Носова. 2012. Т. 1. С.96-99.

**Новиков Сергей Владимирович**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

Аспирант, инженер кафедры «Эксплуатация и организация движения автотранспорта»

E-mail: svnovbel@gmail.com

**Загородний Николай Александрович**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

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

E-mail: n.zagorodnj@yandex.ru

**Семыкина Алла Сергеевна**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

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

E-mail: fantarock@mail.ru

**Конев Алексей Александрович**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

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

E-mail: konev\_alexei@mail.ru

---

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

**ANALYSIS OF RESERVES OF POSSIBILITIES OF NON-SELECTIVE METHODS OF DIAGNOSING THE CONDITION OF TRUCKS**

**Abstract.** The paper considers methods of non-selective diagnostics of truck systems and aggregates, as well as ways to expand their functionality using additional electronic systems that allow for the constant collection and analysis of information about the parameters being diagnosed, and based on them to form decisions on early repair or adjustment interventions without failures. It has been established that the use of a system for the constant collection and analysis of information about the diagnosed parameters reduces the number of malfunctions that turn into failures, as well as reduces the downtime of cars during repairs and individual diagnostic measures.

**Keywords:** trucks, diagnostics, non-selective diagnostic methods, fault prevention

## BIBLIOGRAPHY

1. Bachinskiy V.I., Kuzminskaya E.I. Ispol'zovanie elementov ekonomiko-matematicheskogo modernizovaniya v upravlenii proizvodstvennymi zatratami gorno-obogatitel'nykh predpriyatiy // Ekonomika i upravlenie: analiz tendentsiy i perspektiv razvitiya. 2013. №6. S. 197-201.
2. Gavrishev S.E. Organizatsionno-tehnologicheskie metody povysheniya nadezhnosti i effektivnosti raboty kar' erov: monografiya. Magnitogorsk: MGTU, 2002. 231 s.
3. Drygin M.YU., Kuryshkin N.P. Diagnostika sostoyaniya tyazheloy gornoj tekhniki pri planovo-predupreditel'nykh remontakh // Dinamika sistem, mekhanizmov i mashin. 2017. T. 5. №2. S. 115-122.
4. Zakharov N.S., Ten'kovskaya S.A. Vliyanie narabotki i vozrasta na potok otkazov avtomobiley [Elektronnyy resurs] / Intellekt. Innovatsii. Investitsii. 2023. №2. S. 121-129. URL: <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-2-121>.
5. Lepetyukha S.V. , YAKushev A.S. Sostoyanie i perspektivy razvitiya tekhnologicheskogo avtotransporta Lebedinskogo GOKa // Gornyy zhurnal. 2007. №7. S. 25-27;
6. Lubenskaya O.A., Klimova E.V., Hramtsov B.A., Rostovtseva A.A. Otsenka avariynosti i proizvodstvennogo travmatizma pri razrabotke poleznykh iskopaemykh otkrytym sposobom // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova. 2013. №1. S. 140-144.
7. Mal'tsev D.V., Pestrikov S.A., Utrobin V.YU. Vliyanie usloviy ekspluatatsii na nadezhnost' gruzovykh avtomobiley na baze shassi KamAZ // Himiya. Ekologiya. Urbanistika. 2019. T. 2019-2. S. 129-133. EDN: BYLOZF
8. Matvienko I.V., Ivashko V.S. Issledovaniya nadezhnosti avtomobiley v protsesse ikh tekhnicheskoy ekspluatatsii // Novosti nauki i tekhnologiy. 2020. №2(53). S. 30-37. EDN: FQBPJ1.
9. Musin K.S., Sabraliev N.S., Adilbekov M.A. Issledovanie i povyshenie ekspluatatsionnoy nadezhnosti gruzovykh avtomobiley // Vestnik Almatinskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2018. №3. S. 75-81. EDN: YLWEQP.
10. Naskovets A.M., Parkhomchik P.A., Egorov A.N., Shishko S.A., Moiseenko V.I. Sovremennoe razvitiye kar'ernogo transporta proizvodstva OAO "BELAZ" // Aktual'nye voprosy mashinovedeniya. 2018. T. 7. S. 8-11.
11. Nesterenko A.V., Razgulov S.A., Berestnev E.YU., Nikulin A.A. Remontnaya sluzhba kombinata // Gornyy zhurnal. 2017. №5. S. 42-45.
12. Novikov A.N., Novikov I.A., Zagorodniy N.A., Semykina A.S. Razrabotka nauchno-metodicheskikh podkhodov dlya povysheniya effektivnosti kar'ernogo transporta // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta. 2020. T. 17. №6(76). S. 690-703.
13. Petrov V.L., Goncharenko S.N., Parsegov A.S. Modelirovaniye riskov vozniknoveniya prostoev i avariynykh situatsiy tekhnologicheskogo oborudovaniya gornoj predpriyatiy // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tehnicheskiy zhurnal). 2012. №12. S. 283-292.
14. Zyryanov I.V. Metody povysheniya nadezhnosti sistem kar'ernogo avtotransporta v ekstremal'nykh usloviyakh ekspluatatsii. SPb., 2003. 120 s.
15. Korchagin V.A., Shaternikov V.S., Shaternikov M.V. Opredelenie optimal'noy strategii remontnogo obsluzhivaniya dvigatelya YAMZ-240N // Avtotransportnoe predpriyatiye. 2014. №10. S. 35-39.
16. Rakhamangulov A.N., Gavrishev S.E., Gryaznov M.V. i dr. Upravlenie razvitiem gornodobyvayushchego predpriyatiya. Informatsionnye modeli i metody: monografiya. Magnitogorsk: MGTU, 2002. 245 s.
17. Semykina A.S., Zagorodniy N.A. Sovershenstvovanie transportnoy sistemy gorno-obogatitel'nykh kombinatov // Avtomobil'naya promyshlennost'. 2019. №6. S. 31-34.
18. Semykina A.S., Zagorodniy N.A., Novikov A.N. Zamena iznoshennykh elementov vosstanovlennymi na kar'ernykh ATS // Avtomobil'naya promyshlennost'. 2022. №2. S. 31-34.
19. Mariev P.L., Kuleshov A.A., Egorov A.N., Zyryanov I.V. Kar'ernyy avtotransport: sostoyanie i perspektivy. SPb.: Nauka, 2004. 429 s.
20. Tarikov D.SH., Kornilov S.N. Analiz proizvodstvennoy deyatel'nosti gornodobyvayushchego predpriyatiya i razrabotka metodiki optimizatsii transportno - gruzovogo kompleksa // Aktual'nye problemy sovremennoy nauki, tekhniki i obrazovaniya. Magnitogorsk: Magnitogorsk. gos. tekhn. un-t im. G.I. Nosova. 2012. T. 1. S.96-99.

**Novikov Sergey Vladimirovich**  
Belgorod State Technological University  
Address: Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova 46  
Postgraduate student  
E-mail: svnovbel@gmail.com

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

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

**Konev Alexey Alexandrovich**  
Belgorod State Technological University  
Address: Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova 46  
Candidate of technical science  
E-mail: konev\_alexcei@mail.ru

Научная статья

УДК: 629.083

doi:10.33979/2073-7432-2024-4-3(87)-55-61

А.С. ГРИШИН, В.И. САРБАЕВ, С. ДЖОВАНИС

## **ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА АЛЬТЕРНАТИВ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ ДЛЯ АВТОСЕРВИСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ**

**Аннотация.** В статье рассматривается применение теории нечетких множеств для определения рационального количества альтернативных запасных частей внутри конкретной номенклатуры деталей. Получены оптимальные соотношения для оригинальных и неоригинальных деталей на складе автосервиса с учетом мнений клиентов автосервиса, что позволяет экономить издержки предприятия при сохранении лояльной клиентской базы

**Ключевые слова:** поставщики, дилерский автосервис, запасные части, нечеткие множества, альтернативы, характеристики запасных частей

### **Введение**

На автомобильном рынке РФ в настоящее время происходят стремительные изменения, связанные с ограничениями поставок автомобилей и комплектующих. Дилерские сети многих производителей, оказавшись в трудном положении, вынуждены были пойти по пути независимых предприятий автосервиса, занявшись поиском альтернативных поставщиков запасных частей, а также неоригинальных автозапчастей и комплектующих.

Однако, специалисты, занимающиеся управлением запасами дилерских автосервисов, в большинстве своём оказались не готовы к системной работе по поиску альтернатив запасных частей, что на начальном этапе трансформации системы заказов привело к отказам клиентам в обслуживании и подрыву репутации многих автодилеров. В настоящее время ситуация постепенно выравнивается, однако специалисты материально технического обеспечения продолжают в большинстве своём действовать бессистемно, в основном закрывая «дыры» дефицита оригинальных запчастей и комплектующих. Вместе с тем основным задачами обеспечения запасными частями является поддержание качества обслуживания, при сохранении привлекательной для потребителя услуги стоимости, а также нормативов прибыльности предприятия. При этом рынок сегодня предлагается множество альтернатив запасных частей, количество которых по некоторым номенклатурным позициям может достигать десятков.

### **Материал и методы**

Проблемы материально технического обеспечения предприятий автомобильного транспорта и автосервиса рассматриваются во многих предыдущих исследованиях, так исследования [1-4, 7, 8], посвящены выбору поставщиков запасных частей. Исследованию надежности поставщиков с применением генетических алгоритмов, искусственных нейронных сетей посвящены исследования [5, 6]. В работах [9], [10] изучаются вопрос конкурентоспособности предприятий автосервиса в контексте взаимодействия с потребителями услуг.

В исследованиях [11-13] показана важность системного подхода к работе с поставщиками организаций.

Работы [14-19] посвящены изучению качества запасных частей и оценке поставщиков.

При решении задачи определения ассортимента внутри одной товарной группы (или одной позиции запасной части статистическая оценка спроса фактически невозможна. Воспользуемся теорией нечетких множеств для решения подобной задачи. Основы теории нечетких множеств подробно описаны в [20], теория дает решение, в случае, когда субъективное оценка играет существенную роль в исследовании.

### Теория и расчет

Таким образом определим идеальное количество альтернативных запасных частей, которое следует держать в качестве заменителей или альтернатив оригиналной запасной части для предприятия автосервиса. Решим задачу для одного обособленного предприятия путем условного деления активной клиентской базы данного предприятия на сегменты (эти данные содержаться в информационной системе предприятия). Например: Владельцы гарантийных автомобилей 1-4 года, владельцы послегарантийных автомобилей 5-8 лет, и владельцы автомобилей старше 8 лет.

Запасные части будут характеризоваться следующими признаками цена, качество, торговая марка (имидж бренда), гарантия производителя, улучшенные характеристики. По совокупности одна альтернатива (запасная часть) будет превосходить другую, если его признаки более высоки при оценке потребителя.

Пусть  $x_i$  – одна из альтернативных запасных частей,  $i=\overline{1, n}$ ;

$X = \{x_1, \dots, x_n\}$  – множество деталей заменителей оригиналной запчасти, которые предлагаются потребителю.

$p_j$  – признак запасной части,  $j=\overline{1, b}$

$P = \{p_1, \dots, p_b\}$  – множество признаков запасной части (приведенные выше).

$n_k$  – потребитель (сегмент активной клиентской базы по возрасту автомобиля), по которым имеются сведения о количестве таких клиентов, и субъективное мнение (группы экспертов) об их предпочтениях,  $k=\overline{1, c}$ ;

$N = \{n_1, \dots, n_c\}$  – множество сегментов активной клиентской базы.

Для сегментов активной клиентской базы определяется весовая функция, выраженная формулой (1):

$$W = \begin{pmatrix} w(n_1) \\ w(n_1) \\ \dots \\ w(n_c) \end{pmatrix}, \quad \sum_k w(n_k) = 1 \quad (1)$$

С помощью группы экспертов – специалистов отделов закупок (внутренних и внешних), построим нечеткую матрицу  $R$  из значений функции принадлежности  $\varphi_R(x_i, p_j)$ , указывающую на принадлежность  $p_j$  альтернативной запасной части  $x_i$ :

$$R = \begin{bmatrix} & \begin{array}{cccc} p_1 & p_2 & \dots & p_b \end{array} \\ \begin{array}{c} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_k \end{array} & \begin{array}{cccc} \varphi_R(x_1, p_1) & \varphi_R(x_1, p_2) & \dots & \varphi_R(x_1, p_b) \\ \varphi_R(x_2, p_1) & \varphi_R(x_2, p_2) & \dots & \varphi_R(x_2, p_b) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \varphi_R(x_k, p_1) & \varphi_R(x_k, p_2) & \dots & \varphi_R(x_k, p_b) \end{array} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Необходимо вычислить степень множества  $S_n$ , поскольку запасные части являются взаимозаменяемыми. Чем выше значение элемента матрицы  $R$  тем важнее характеристика детали.

$$S_n = \max_i \sum_j \varphi_R(x_i, p_j). \quad (3)$$

Построим нечеткую матрицу  $U$  из значений функции  $\psi: P \times M \rightarrow [0, 1]$ :

$$U = \begin{bmatrix} & \begin{array}{cccc} n_1 & n_2 & \dots & n_c \end{array} \\ \begin{array}{c} p_1 \\ p_2 \\ \dots \\ p_b \end{array} & \begin{array}{cccc} \psi_u(p_1, n_1) & \psi_u(p_1, n_2) & \dots & \psi_u(p_1, n_c) \\ \psi_u(p_2, n_1) & \psi_u(p_2, n_2) & \dots & \psi_u(p_2, n_c) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \psi_u(p_b, n_1) & \psi_u(p_b, n_2) & \dots & \psi_u(p_b, n_c) \end{array} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Чем выше значение  $\psi_u$  тем важнее характеристика запчасти для предприятия автосервиса.

Далее на базе 2-х предыдущих матриц построим матрицу  $T$ , состоящую из следующих

элементов:

$$\xi_T(x_i, n_k) = \frac{\sum_j \varphi_R(x_i, p_j) \Psi_u(p_j, n_k)}{\max_i \sum_j \varphi_R(x_i, p_j)}, \quad (5)$$

для всех  $x \in X, p \in P, n \in N$ .

Чем выше значение элемента, тем предпочтительнее запчасть для конкретного клиентского сегмента.

$$T = \begin{bmatrix} & z_1 & z_2 & \cdots & z_c \\ x_1 & \xi_t(x_1, n_1) & \xi_t(x_1, n_2) & \cdots & \xi_t(x_1, n_c) \\ x_2 & \xi_t(x_2, n_1) & \xi_t(x_2, n_2) & \cdots & \xi_t(x_2, n_c) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_b & \xi_t(x_b, n_1) & \xi_t(x_b, n_2) & \cdots & \xi_t(x_b, n_c) \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Для того чтобы отсеять непопулярные у клиентов запасные части необходимо ввести порог  $L_p$ . Значения ниже данного порога использоваться не будут. Построим матрицу  $A = TxW$ , элементы которой определяются функцией  $\mu_A$ .

$$\mu_A(x_b, n_k) = \begin{cases} \xi_t(x_b, n_k) w_k, & \text{если } \xi_t(x_b, n_k) \geq L_p \\ 0, & \text{если } \xi_t(x_b, n_k) < L_p \end{cases}, \quad (7)$$

для всех  $x \in X, m \in M$

Далее строится результирующая матрица, элементы которой показывают долю  $x_i$  в совокупной доле складского запаса. Таким образом мы получаем долю каждой альтернативы в конкретной номенклатуре запасных частей.

Применим модель для выбора альтернатив конкретной номенклатуры деталей: тормозные колодки для автомобиля Toyota Land Cruiser 200 (Оригинальный номер 04465-60280) для складов 6 дилерских станций Тойота в московском регионе. Экспертами, принимающими участие в отборе, являются 5 сотрудников централизованной группы закупок и 2 приглашенных специалиста от поставщиков предприятия, и один специалист независимого автосервиса. Марки запасных частей отобранные экспертами, как альтернативные представлены в Таблице 1.

Таблица 1 - Список запасных частей для выбора альтернатив

№ п/п	Наименование бренда	Категория	Условное обоз- начение	Особенности	Средняя себестои- мость детали у ос- новного поставщика, руб.
1	Toyota	Оригинальная запасная часть	OE	-	9700
2	Advics	Завод- конвейерный поставщик	OEM	-	6500
3	Brembo	Неоригинальная запчасть	IES	Популярный качественный бренд	6700
4	Hawk	Неоригинальная запчасть	IES	Улучшенные характеристики (износостойкость при повышенных нагрузках)	10900
5	Sangsin	Неоригинальная запчасть	IES	Недорогой бренд с высоким рейтингом у поставщиков	3500

Для решения задачи введём обозначения  $x_i$  – марка тормозных колодок.  $i=1,5$   
 $p_j$  – признак запасной части,  $j=1,4$ ;

$P = \{p_1 - \text{цена}, p_2 - \text{рейтинг запасной части на сайтах поставщиков}, p_3 - \text{имидж бренда}, p_4 - \text{наличие улучшенной характеристики (в данном случае износостойкость при повышенных нагрузках)}\}$  – множество признаков запасной части;

$n_k$  – группа постоянных клиентов автосервиса,

$N = \{n_1 -$  владельцы гарантитных автомобилей до 4 лет включительно,  $n_2$  - владельцы автомобилей 5-9 лет,  $n_3$  - владельцы автомобилей более 9 лет} – множество сегментов активной клиентской базы предприятия.

Весовая функция определяется по результатам предыдущей деятельности

$$W = \begin{pmatrix} 0.15 \\ 0.55 \\ 0.3 \end{pmatrix}, \sum_k w(n_k) = 1$$

С помощью экспертов определим функцию принадлежности нечеткой матрицы  $R$  «запасные части – признаки запасных частей»:  $\varphi_R: X \times P \rightarrow [0,1]$ , выражающую относительную степень принадлежности признаков рассматриваемым товарам и степень множества  $S_n$ , используя формулу (3).

Для рассматриваемого примера

$$R = \begin{bmatrix} & p_1 & p_2 & p_3 & p_4 \\ x_1 & 0.4 & 1 & 1 & 1 \\ x_2 & 0.4 & 0.8 & 0.6 & 1 \\ x_3 & 0.6 & 0.8 & 0.8 & 0.8 \\ x_4 & 0.8 & 0.6 & 0.4 & 0.6 \\ x_5 & 1 & 0.6 & 0.2 & 0.2 \end{bmatrix}, \bar{S} = \begin{pmatrix} 3.4 \\ 2.8 \\ 3.0 \\ 2.4 \\ 2.0 \end{pmatrix}, S_m = 3.4$$

Потребители продукции представлены группами покупателей, с разными предпочтениями по обслуживанию своего автомобиля. Данные собирались путем анкетирования клиентов-владельцев автомобиля. В опросе приняли участие не менее 15 клиентов из каждой группы. Составим нечеткое множество  $U$  – признаки запчасти – сегменты клиентской базы.

$$U = \begin{bmatrix} & n_1 & n_2 & n_3 \\ p_1 & 0.6 & 0.8 & 1 \\ p_2 & 1 & 1 & 0.9 \\ p_3 & 0.7 & 0.8 & 0.8 \\ p_4 & 1 & 0.8 & 0.8 \end{bmatrix}$$

Функция  $\psi_u(p_j, n_j)$  характеризует степень совместимости сегмента клиентской базы с признаком  $p_j$ . Чем больше признак  $p_j$  для клиентов предприятия тем выше значение функции  $\psi_u(p_j, n_j)$ . Используя операцию композиции и формулу (5), получим:

$$T = \begin{bmatrix} & z_1 & z_2 & z_3 \\ x_1 & 2.94 & 2.92 & 2.90 \\ x_2 & 2.46 & 2.40 & 2.40 \\ x_3 & 2.52 & 2.56 & 2.60 \\ x_4 & 1.96 & 2.04 & 2.14 \\ x_5 & 1.54 & 1.72 & 1.86 \end{bmatrix}$$

Чем выше значение функции  $\xi_T(x_i, n_k)$  тем больше запасных частей данного бренда должны находиться на складе. Естественно, чем ниже значение функции, тем больше рисков, что запчасть окажется неликвидной.

Принимая во внимание весовую функцию и введя порог разделения  $L_R = 2/3 \min \max \xi_T(x_i, n_k)$ , получим итоговую матрицу  $A$ , которая позволяет определить предпочтительную структуру как по брендам, так и по сегментам клиентской базы:

$$A = \begin{bmatrix} & m_1 & m_2 & m_3 \\ x_1 & 0.44 & 1.61 & 0.87 \\ x_2 & 0.37 & 1.32 & 0.72 \\ x_3 & 0.38 & 1.41 & 0.78 \\ x_4 & 0.29 & 1.12 & 0.64 \\ x_5 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \overline{A1} = \begin{bmatrix} & Sx & \% \\ x_1 & 2.92 & 30\% \\ x_2 & 2.41 & 25\% \\ x_3 & 2.57 & 25\% \\ x_4 & 2.05 & 20\% \\ x_5 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Для упрощения процедур заказа и контроля остатков, решено объединить доли 2-го и 3-го брендов и отдать предпочтение конвейерному поставщику. Таким образом доли хранимой номенклатуры распределены как 30 % - оригинальная запасная часть, 50 % - конвейерный поставщик (ADVICS) и 20 % - неоригинальные запчасти с улучшенными характеристиками.

### ***Результаты и обсуждение***

В 2023 г. предприятием было реализовано 1045 комплектов тормозных колодок ис-следуемой номенклатуры, средняя маржинальная прибыль от реализации 1 комплекта 4 320 руб. (с учетом рекомендованной розничной цены автопроизводителя, которую дилеру за-прещается нарушать).

Прибыль от реализации 1 комплекта неоригинальных колодок в среднем составляет 5 700 руб.

Расчётная эффективность от внедрения методики в 2023 г.: 1 024 100 руб. в год при сохранении доли оригинальных колодок до 30 % в объеме (что обеспечивает удовлетворенность предпочтений и сохранение активной клиентской базы (только для одной номенклатурной позиции).

Для вычисления реальной экономии необходимо проведение эксперимента.

### ***Выводы***

Решена научно-практическая задача: разработана методика определения долевого распределения альтернативных запасных частей на основе теории нечетких множеств с учетом мнений клиентов предприятия.

Часть клиентов дилерских предприятий автосервиса готовы приобретать альтернативные запасные части.

Частичное использование неоригинальных запасных частей увеличивает конкурентоспособность и доходность предприятия.

Дальнейшие исследования необходимо вести по следующим направлениям:

- обобщение полученных результатов для других сегментов клиентской базы и групп запасных частей;
- доработка программного обеспечения предприятия с целью контроля полученных соотношений;
- определение оптимальной периодичности исследования предпочтений активной клиентской базы.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Еремеева Ю.В. Управление выбором поставщиков продукции на предприятии автосервиса (на примере ООО «Пермтранссервис») // Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки: Материалы Всероссийской конференции с международным участием. Москва: Пере. 2017. С. 322-326.
2. Хаирова С.М., Хаиров Б.Г., Шимохин А.В. Методика работы с поставщиками на основе моделирования работы нейронной сети при решении вопросов выбора поставщиков услуг // Фундаментальные исследования. 2020. №7. С. 129-137.
3. Демидовский А.В. Сравнительный анализ методов многокритериального принятия решений: ELECTRE, TOPSIS и ML-LDM // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. 2020. Т. 1. С. 234-237.
4. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в волшебных странах: Учебник. М.: Логос, 2003.
5. Гавриловская С.П. Выбор и оценка поставщика с использованием метода многокритериального выбора // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. №5. С. 187-192.
6. Неретина Е.А., Курочкин О.Н. Обоснование альтернативных вариантов выбора поставщика комплексующих изделий на основе концепций межфирменного взаимодействия // Региональная экономика: теория и практика. 2012. №11. С. 35-42.
7. Бондаренко Е.В., Дрючин Д.А., Булатов С.В. Оценка целесообразности организации входного контроля качества запасных частей в условиях автотранспортного предприятия // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2021. №2. С. 71-78.

8. Макарова И.В., Буйвол П.А., Шубенкова К.А., Мухаметдинов Э.М. Прогнозирование надежности поставщика запасных частей для нового модельного ряда автомобильной техники // Современные научно-исследовательские технологии. 2018. №6. С. 101-106.
9. Копнов В.А., Бессонов А.И., Астафьева О.М. Стратегический подход к управлению качеством закупок машиностроительного предприятия: монография. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2012. 142 с.
10. Шупляков В.С., Яковенко Г.В., Первунин С.Н. [и др.]. Конкурентоспособность предприятий автомобильного сервиса // Известия МГТУ МАМИ. 2012. Т. 1. №1(13). С. 309-317.
11. Андреева О.Д. Технология бизнеса. Маркетинг: Учеб. пособие М.: Дело, 2001.
12. Кицнер И.М. Конкуренция и предпринимательство. М.: Юнита – Дана, 2001.
13. Фляйшер К., Бенсуссан Б. Стратегический и конкурентный анализ. Методы и средства конкурентного анализа в бизнесе. Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2016. 541 с.
14. Sarkis J., Dhavale D.J. Supplier selection for sustainable operations: A triple-bottom-line approach using a Bayesian framework // Int. J. Production Economics. 2015. Vol. 166. P. 177-191.
15. Guo Zhiming, Yan Hongsen, Chen Shihua et al. Research on Spare Parts Inventory Control // Computer Integrated Manufacturing Systems. 2003. №9(6). P. 1028-1032.
16. Жаров С.П. Система контроля качества запасных частей на предприятиях автомобильного транспорта // Вестник КГУ. 2010. №1. С. 28-31.
17. Айдаров Д.В., Козловский В.Н., Крцкий А.В., Муталов А.Д. Комплекс основного инструментария процесса внутреннего мониторинга качества продукции на машиностроительном предприятии // Известия Самарского научного центра Российской Академии Наук. 2019. Т21. №5. С.22-27.
18. Макарова А.А., Нордин В.В. Анализ направлений маркетинговой политики автосервисного предприятия // Вестник молодежной науки. 2019. №5(22). С. 14.
19. Wetzstein A., Hartmann E., Benton jr. W.C. and others. A systematic assessment of supplier selection literature – State-of-the-art and future scope // International Journal of Production Economics. 2016. Vol. 182. P. 304-323.
20. Нечеткие множества и теория возможностей / Под редакцией Рональда Р. Ягера. М.: Радио и связь, 1986. 406 с.

**Гришин Александр Сергеевич**

Московский политехнический университет

Адрес: 107023, Россия, Москва, ул. Б. Семеновская, 38

К.т.н., докторант

E-mail: agrishin@toyotabc.ru

**Сарбаев Владимир Иванович**

Московский политехнический университет

Адрес: 107023, Россия, Москва, ул. Б. Семеновская, 38

Д.т.н., профессор

E-mail: visarbaev@gmail.com

**Джованис Симос**

Московский политехнический университет

Адрес: 107023, Россия, Москва, ул. Б. Семеновская, 38

Аспирант

E-mail: singmanos@yahoo.com

---

A.S. GRISHIN, V.I. SARBAEV, S. TZJOVANNI

**SELECTION OF A RATIONAL QUANTITY OF ALTERNATIVES  
FOR SPARE PARTS FOR CAR SERVICE USING FUZZY SET METHODS**

*Abstract. The article discusses the application of fuzzy set theory to determine the rational number of alternative spare parts within a specific part range. Optimal ratios have been obtained for original and non-original parts in the car service warehouse, taking into account the opinions of car service customers, which allows you to save enterprise costs while maintaining a loyal customer base*

*Keywords: suppliers, dealer car service, spare parts, fuzzy sets, alternatives, characteristics of spare parts*

**BIBLIOGRAPHY**

1. Eremeeva YU.V. Управление выбором поставщиков продуктов на предприятии автосервиса (на примере

ООО «Perm`transservis») // Sovremennoe sostoyanie, problemy i perspektivy razvitiya otraslevoy nauki: Materialy Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Moskva: Pero. 2017. S. 322-326.

2. Hairova S.M., Hairov B.G., Shimokhin A.V. Metodika raboty s postavshchikami na osnove modelirovaniya raboty neyronnoy seti pri reshenii voprosov vybora postavshchikov uslug // Fundamental`nye issledovaniya. 2020. №7. S. 129-137.

3. Demidovskiy A.V. Sravnitel`nyy analiz metodov mnogokriterial`nogo prinyatiya resheniy: ELECTRE, TOPSIS i ML-LDM // Mezhdunarodnaya konferentsiya po myagkim vychisleniyam i izmereniyam. 2020. T. 1. S. 234-237.

4. Larichev O.I. Teoriya i metody prinyatiya resheniy, a takzhe Hronika sobityi v volshebnykh stranakh: Uchebnik. M.: Logos, 2003.

5. Gavrilovskaya S.P. Vybor i otsenka postavshchika s ispol`zovaniem metoda mnogokriterial`nogo vybora // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova. 2017. №5. S. 187-192.

6. Neretina E.A., Kurochkin O.N. Obosnovanie al`ternativnykh variantov vybora postavshchika komplektuyushchikh izdeliy na osnove kontseptsiy mezhfirmennogo vzaimodeystviya // Regional`naya ekonomika: teoriya i praktika. 2012. №11. S. 35-42.

7. Bondarenko E.V., Dryuchin D.A., Bulatov S.V. Otsenka tselesoobraznosti organizatsii vkhodnogo kontrolya kachestva zapasnykh chastei v usloviyakh avtotransportnogo predpriyatiya // Intellekt. Innovatsii. Investitsii. 2021. №2. S. 71-78.

8. Makarova I.V., Buyvol P.A., Shubenkova K.A., Mukhametdinov E.M. Prognozirovaniye nadezhnosti postavshchika zapasnykh chastei dlya novogo model`nogo ryada avtomobil`noy tekhniki // Sovremennye naukoemkie tekhnologii. 2018. №6. S. 101-106.

9. Kopnov V.A., Bessonov A.I., Astaf`eva O.M. Strategicheskiy podkhod k upravleniyu kachestvom zakupok mashinostroitel`nogo predpriyatiya: monografiya. Ekaterinburg: Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2012. 142 s.

10. Shuplyakov V.S., YAkovenko G.V., Pervunin S.N. [i dr.]. Konkurentosposobnost` predpriyatiy avtomobil`nogo servisa // Izvestiya MGTU MAMI. 2012. T. 1. №1(13). S. 309-317.

11. Andreeva O.D. Tekhnologiya biznesa. Marketing: Ucheb. posobie M.: Delo, 2001.

12. Kirtsner I.M. Konkurentsiya i predprinimatel`stvo. M.: YUnita - Dana, 2001.

13. Flyaysher K., Bensussan B. Strategicheskiy i konkurentnyy analiz. Metody i sredstva konkurentnogo analiza v biznese. Moskva: BINOM. Laboratoriya znanii, 2016. 541 s.

14. Sarkis J., Dhavale D.J. Supplier selection for sustainable operations: A triple-bottom-line approach using a Bayesian framework // Int. J. Production Economics. 2015. Vol. 166. P. 177-191.

15. Guo Zhiming, Yan Hongsen, Chen Shihua et al. Research on Spare Parts Inventory Control // Computer Integrated Manufacturing Systems. 2003. №9(6). P. 1028-1032.

16. ZHarov S.P. Sistema kontrolya kachestva zapasnykh chastei na predpriyatiyakh avtomobil`nogo transporta // Vestnik KGU. 2010. №1. S. 28-31.

17. Aydarov D.V., Kozlovskiy V.N., Krtskiy A.V., Mutalov A.D. Kompleks osnovnogo instrumentariya protsessa vnutrennego monitoringa kachestva produktsii na mashinostroitel`nom predpriyatiy // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy Akademii Nauk. 2019. T21. №5. S.22-27.

18. Makarova A.A., Nordin V.V. Analiz napravleniy marketingovoy politiki avtoservisnogo predpriyatiya // Vestnik molodezhnoy nauki. 2019. №5(22). S. 14.

19. Wetzstein A., Hartmann E., Benton jr. W.C. and others. A systematic assessment of supplier selection literature - Stateof-the-art and future scope // International Journal of Production Economics. 2016. Vol. 182. R. 304-323.

20. Nechetkie mnozhestva i teoriya vozmozhnostey / Pod redaktsiey Rona`da R. YAgera. M.: Radio i svyaz`, 1986. 406 s.

**Grishin Aleksandr Sergeevich**

Moscow Polytechnic University

Address: 107023, Russia, Moscow, B. Semenovskaya str., 38

Candidate of Technical Sciences

E-mail: agrishin@toyotabc.ru

**Sarbaev Vladimir Ivanovich**

Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

Address: 107023, Russia, Moscow, B. Semenovskaya str., 38

Doctor of Technical Sciences

E-mail: visarbaev@gmail.com

**Tzjovanniss Simos**

Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

Address: 107023, Russia, Moscow, B. Semenovskaya str., 38

Postgraduate student

E-mail: singmanos@yahoo.com

Научная статья  
УДК 629.018  
doi:10.33979/2073-7432-2024-4-3(87)-62-67

Н.В. ЛОБОВ, В.В. АФАНАСЬЕВ

## ВЫБОР РЕЖИМОВ ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

**Аннотация.** С учетом особенностей работы электромобиля, произведен теоретический анализ существующих типовых режимов работы электрических двигателей промышленного назначения. Осуществлен подбор режимов нагружения электрического двигателя, лучшим образом соответствующих режиму движения транспортного средства в условиях эксплуатации. Из 10 типовых режимов работы электродвигателей обоснован выбор двух режимов.

**Ключевые слова:** электромобиль, электрический двигатель, ездовой цикл, режимы нагружения, стендовые испытания

### Введение

Очевидным трендом последнего времени является рост производства и продаж электромобилей [1-2]. В качестве силовой энергетической установки в них используются: литий-ионные аккумуляторы, инвертор и электрический двигатель. Преимуществом такой энергетической установки по сравнению с традиционными двигателями внутреннего сгорания (ДВС) является то, что электродвигатели: синхронные (СД) и/или асинхронные (АД), кроме лучших экологических характеристик, еще обладают и лучшими эксплуатационными свойствами [3]. Важным этапом при проектировании электромобиля является выбор тягового электродвигателя и определение его силовых параметров, таких как мощность и крутящий момент. Существенно сократить процесс проектирования и доводки транспортного средства позволяет определение выше обозначенных технических параметров при работе электродвигателя на стенде под нагрузкой.

### Материал и методы

В нормативно-правовой базе РФ на сегодняшний день отсутствует регламент определения технических характеристик электродвигателей и методов их испытаний на стенах для электромобилей. Для электродвигателей промышленного назначения такой регламент имеется [4-7], но для данного случая он не подходит. В связи с этим, предприятия, выпускающие электродвигатели для электромобилей, а также производители электромобилей, которые заказывают у выпускающих предприятий такие двигатели и оценивают (перепроверяют) заявленные параметры последних, вынуждены разрабатывать собственные регламенты испытаний, опираясь на общие положения государственных стандартов для электродвигателей или довольствоваться дорожными испытаниями. Это приводит к тому, что заявленные производителем параметры работы электродвигателя транспортного средства могут существенно расходиться, вследствие различия в подходах его испытания. Так, например, для серийно выпускаемого электромобиля «Москвич-3е», производителем заявлены следующие значения пиковой и 30-минутной мощности двигателя, соответственно: 193 л.с. (142 кВт) и 68 л.с. (50кВт) [8]. В Китае данный автомобиль выпускается под брендом JAC e-JS 4 и в характеристиках этого автомобиля указана уже другая мощность, равная 110 кВт [9]. Обращает на себя внимание и тот факт, что производитель «Москвича 3е» приводит только максимальный крутящий момент, равный 340 Н\*м., в то время, как на сайте китайской компании указаны не только значения пикового момента (для такого же, как у Москвича 3е электрического двигателя), но и величина номинального момента равная 140 Н\*м. При этом заявленные параметры мощности электродвигателя различаются в несколько раз [10].

Особого внимания заслуживает используемая в технической литературе терминология: максимальная 30 минутная мощность, пиковая мощность, без указания часто-

ты/диапазона вращения ротора, которые используются в приложении к традиционному ДВС и поэтому она должны быть дополнительным образом прокомментирована.

Исходя из выше сказанного, обоснование режимов испытания электродвигателей электромобилей на стендах под нагрузкой, а также систематизация понятий и определений, которые используются применительно к ним, является актуальной задачей.

### Теория

Исследование по поставленному вопросу.

С целью прояснения смысла используемых в технической литературе терминов и обоснования выбора приемлемого режима испытания электродвигателя электромобиля, был произведен обзор следующих документов: ГОСТ 11828-86 Машины электрические вращающиеся. Общие методы испытаний, ГОСТ 7217-87 Машины электрические вращающиеся. Двигатели асинхронные. Методы испытаний, ГОСТ Р МЭК 60034-4-2012 Машины электрические вращающиеся. Часть 4. Методы экспериментального определения параметров синхронных машин, ГОСТ IEC 60034-1-2014 «Машины электрические вращающиеся. Часть I. Номинальные значения параметров и эксплуатационных характеристик», ГОСТ Р ЕН 1986-1-2011 «Автомобили с электрической тягой. Измерение энергетических характеристик», Часть 1, Электромобили [11], статьи по данной теме [12, 13].

Представленный на рисунке 1 ездовой цикл для легкового автомобиля позволяет лучше понять режимы работы электродвигателя в городском и загородном цикле.

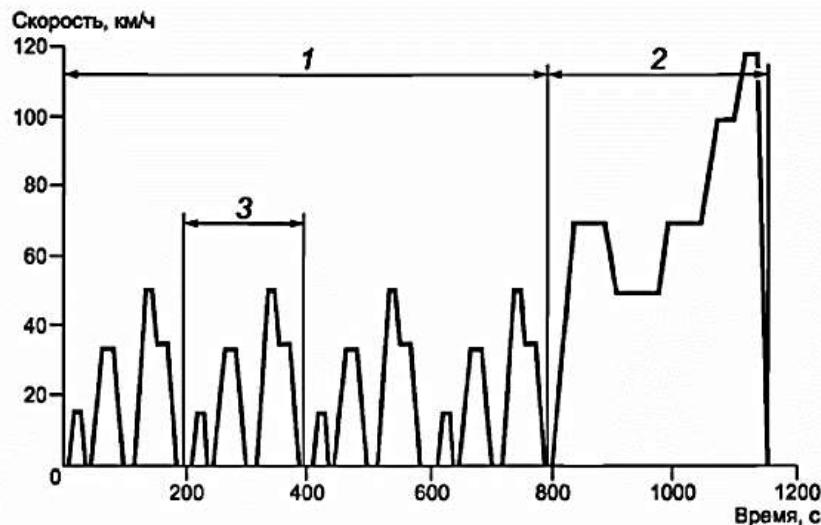


Рисунок 1 - Стандартизованный ездовой цикл, для транспортных средств [11]

Принципиально важным является то, что процесс испытания состоит из двух частей: часть 1 - для движения транспортного средства в городе и части 2 – движения транспортного средства за городом. Городской цикл движения характеризуется неустановившимся движением транспортного средства. Ему характерны режимы разгона - торможения, движение с постоянной скоростью и периоды полной остановки транспортного средства. Для загородного режима движения транспортного средства характерен установившийся режим движения без остановок. В отличие от ДВС, электродвигатель при сбросе скорости движения будет переходить в режим рекуперации энергии, а остановка транспортного средства будет приводить к полному выключению электродвигателя, в отличии от ДВС, который в данном случае продолжает работать на холостом ходу.

В соответствии с требованиями ГОСТ IEC 60034-1-2014 определены 10 типовых режимов работы электродвигателей различных целевых назначений.

Таблица 1 - Режимы работы электродвигателей в соответствии с требованиями ГОСТ IEC 60034-1-2014

№ п/п	Наименование режима, краткая характеристика, основные параметры.	Примечание
1.	S1 Продолжительный режим работы. Характеризуется фиксированным, стационарным во времени режимом нагружения при неизменной частоте вращения.	подходит
2.	S2 Кратковременный режим работы. Характеризуется импульсным, разовым нагружением с постоянной по величине нагрузкой при фиксированной частоте вращения.	не подходит
3.	S3 Периодический повторно-кратковременный режим работы. Характеризуется циклически повторяющимся (постоянным по величине) режимом нагружения при фиксированной частоте вращения.	не подходит
4.	S4 Повторно-кратковременный режим работы электродвигателя с влиянием пусковых процессов. Базовой основой режима является режим S3 с добавлением имитации процесса пуска двигателя при фиксированной частоте вращения двигателя.	не подходит
5.	S5 Повторно-кратковременный режим работы электродвигателя с электрическим торможением и влиянием пусковых процессов. Режим характерен для электропривода лифта при фиксированной частоте вращения двигателя.	не подходит
6.	S6 Перемежающийся режим работы электродвигателя. Для режима характерен цикл с последовательным чередованием нагрузки (подобие режима S3) и работой на холостом ходу при фиксированной частоте вращения двигателя.	не подходит
7.	S7 Перемежающийся режим работы электродвигателя с влиянием пусковых токов и электрическим торможением. Является усложненным по сравнению с режимом S6 режимом нагружения (более сложным рисунком воздействия нагрузки) при постоянной частоте вращения двигателя.	не подходит
8.	S8 Периодический перемежающийся режим работы электродвигателя с периодически изменяющейся частотой вращения.	не подходит
9.	S9 Режим работы электродвигателя с непериодическими изменениями, нагрузки и частоты вращения. По характеру прикладываемой к двигателю нагрузки, позволяет моделировать ездовой цикл транспортного средства, как по частоте так и нагрузке.	подходит
10.	S10 Режим работы электродвигателя характеризуется дискретными постоянными режимами нагружения и изменением частоты вращения.	подходит

Практический интерес в нашем случае представляют режимы работы: S1, S9 и S10. Остановимся на них поподробнее. Согласно типовому режиму работы электродвигателя S1, последний работает при *постоянной нагрузке и постоянной скорости вращения* ротора. На рисунке 2 представлена зависимость изменения крутящего момента АД электромобиля от частоты вращения ротора. Рабочий диапазон изменения крутящего момента АД электромобиля от частоты вращения заштрихован. Он имеет ярко выраженный максимум, который сдвинут в диапазон средних и малых частот вращения электродвигателя и снижение значения до минимума в диапазоне нулевых частот вращения и предельных максимальных частот.

Особенностью работы АД в составе электромобиля является то, что нагрузка на двигатель и частота его вращения непрерывно меняются в зависимости от условий движения. При этом нагрузочный момент изменяется в широком диапазоне в зависимости от характера движения автомобиля. Это не соответствует режиму работы двигателя по S1, но S1 можно рассматривать, как частный случай, соответствующий работе АД на фиксированной частоте процесса: n1, n2, n3 и т.д. При этом предельный – крутящий момент  $M_{max}$ , развиваемый электродвигателем на данной частоте вращения, определяется фактом достижения стабильного температурного режима (точка перехода), режима, когда двигатель выходит на предельный режим работы без перегрева, продолжительное время. Таким образом, испытание двигателя на стенде по режиму S1 в диапазоне рабочих частот, позволяет определить внешнюю скоростную характеристику (ВСХ) электрического двигателя и зафиксировать максимальный (паспортный) крутящий момент электродвигателя и частоту на которой момент был реализован. На рисунке 2 это точка соответствует значению  $M_{max}$  при частоте вращения ротора электрического двигателя n2. Этот максимальный крутящий момент одновременно является и номинальным крутящим моментом.

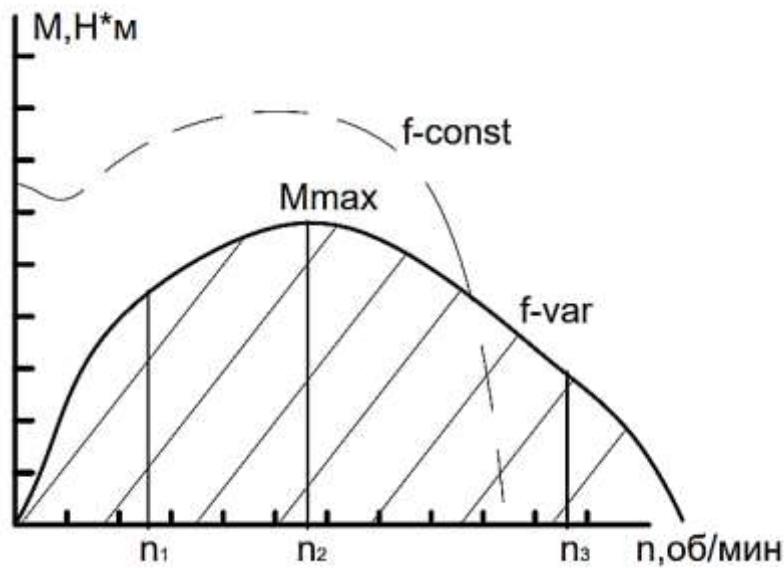


Рисунок 2 - Изменение крутящего момента АД электромобиля от частоты вращения

В соответствии с правила ЕЭК ООН № 85 [15] тридцати минутный интервал времени устанавливается для контроля факта перегрева двигателя. При этом электродвигатель должен испытываться в составе тяговой батареи, инвертора и штатной системы охлаждения электрического двигателя. При этом под максимальной 30-минутной мощностью электродвигателя, следует понимать максимальную мощность на ВСХ с указанием частоты, при которой она была зафиксирована. В данном случае, лимитирующими по температуре звеном может быть не только электродвигатель, а также любой другой элемент системы.

#### Результаты и обсуждение

На основании ГОСТ ИЕС 60034-1-2014 к определению данных по крутящему моменту и мощности имеются определенные требования. Номинальные данные электродвигателя устанавливаются производителем. Нормативный документ выделяет следующие классы номинальных данных: номинальные данные для продолжительного режима, номинальные данные для кратковременного режима, номинальные данные для периодического режима, номинальные данные для непериодического режима, номинальные данные для режима с дискретными постоянными нагрузками и частотами вращения, номинальные данные для эквивалентной нагрузки. Исходя из этого, номинальные данные одного и того же электрического двигателя могут существенно различаться в зависимости от того, какой вид нагрузки был приложен к электрическому двигателю. Так номинальные данные, полученные по режиму испытания S1, могут отличаться от номинальных данных, полученных в результате испытания двигателя по режиму S9, так как данный режим предусматривает кратковременную пиковую перегрузку двигателя и следующее за этим охлаждение электродвигателя. Исходя из сказанного, следует понимать то, какая задача ставится при проведении испытания двигателя на стенде. Если требуется определить паспортные параметры электрического двигателя, то испытания следует проводить по режиму S1. Если происходит отработка конструкции по обеспечению заданной прочности и надежности электросиловой установки и трансмиссии автомобиля, то необходимо проводить испытание последнего по режиму S9 или S10. Режимы S9 и S10 очень похожи. Различие заключается в характере нагрузления. Для режима S9 нагрузка имеет непериодический характер, для режима S10 – периодический, повторяющийся. В нашем случае, режим S10 может быть применен для воспроизведения городского цикла, а режим S9 для воспроизведения городского цикла и загородного режима движения, т.е. он является более универсальным. По этому, его использование при проведении испытаний электрического двигателя на стенде видится более конструктивным.

### **Выводы**

1. Максимальный крутящий момент электродвигателя и его максимальная (паспортная) мощность должны определяться при проведении испытаний по режиму S1 с обязательным указанием оборотов, на которых они были зафиксированы.
2. Под максимальной 30-минутной мощностью электродвигателя, следует понимать максимальную мощность электродвигателя, при работе двигателя по режиму S1, когда испытание последнего производится в составе тяговой батареи, инвертора и штатной системы охлаждения. При этом тридцати минутный интервал работы двигателя под нагрузкой необходим для фиксации теплового состояния всех элементов системы.
3. Более точных, приближенных к реальным, предельных значений крутящего момента и мощности можно достичь при работе электродвигателя по режиму S9, когда происходит непериодическое изменение нагрузки и частоты вращения электрического двигателя. Циклически повторяющийся режим нагружения электрического двигателя по S9 наилучшим образом соответствует реальному процессу работы электрического двигателя в составе электромобиля, как в городском, так и загородном цикле движения.
4. Все выше сказанное относится, как к синхронным двигателям, так и асинхронным.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Ev-volumes.com [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ev-volumes.com/>.
2. Bussiness Stat [Электронный ресурс]. URL: <https://businesstat.ru/catalog/id81693/?yclid=13497249592485085183>.
3. Птицын А.С., Червенчук В.Д. Электромобили их плюсы и минусы в сравнении с автомобилями, работающими на ДВС // Международный научно-исследовательский журнал «Аллея науки». 2018. №11(27).
4. Коварский Е.М., Янко Ю.И. Испытание электрических машин. М.: Энергоатомиздат. 1990. 320 с.
5. ГОСТ 11828-86. Машины электрические вращающиеся. Общие методы испытаний; введ. 01.07.87. Москва: ИПК Издательство стандартов, 2003. 32 с.
6. ГОСТ IEC 60034-1-2014. Машины электрические вращающиеся. Часть I. Номинальные значения параметров и эксплуатационных характеристик; введ. 01.03.16. Москва: Стандартинформ, 2015. 57 с.
7. ГОСТ 7217-87. Машины электрические вращающиеся. Двигатели асинхронные. Методы испытаний; введ. 01.01.88. Москва: ИПК Издательство стандартов, 2003. 39 с.
8. ГОСТ Р МЭК 60034-4-2012. Машины электрические вращающиеся. Часть 4. Методы экспериментального определения параметров синхронных машин; введ. 23.11.12. Москва: Стандартинформ, 2014. 83 с.
9. Брошюра рекламная [Электронный ресурс]. URL: <https://storage.yandexcloud.net/s3-moskvich-new/cms/1ee4/24/3100cce011808e4a61f3f147bc0a978af930e692.pdf>.
10. Сайт компании JAC (Китай) [Электронный ресурс]. URL: <https://jacen.jac.com.cn/models/e-js4/>.
11. Сайт компании JAC (Китай) [Электронный ресурс]. URL: <https://jacen.jac.com.cn/models/e-js4/>.
12. ГОСТ Р ЕН 1986-1 -2011. Автомобили с электрической тягой. Измерение энергетических характеристик. Ч. 1. Электромобили; введ. 14.06.11. Москва: Стандартинформ, 2012. 20 с.
13. Сарач М.Б., Сарач Е.Б., Захаров Ю.А. Стендовые испытания электродвигателей EMRAX 208,228 // Известия МГТУ «МАМИ». №1(43). 2020. С. 82-86.
14. Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности // Материалы VI Международной научно-практической конференции. Т. 1. С. 141-146.
15. Андреев В.А., Андреев Т.П., Ильин С.А. и др. Испытательный стенд тяговых электродвигателей на ЗАО «Чебоксарское предприятие «Сеспель» // Чувашский государственный университет. 2020. С. 404.
16. Правило ЕЭК ООН 85 от 21.08.2013 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2015/R085r1r.pdf>.

#### **Лобов Николай Владимирович**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет  
Адрес: 614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29  
Д.т.н., зав. кафедрой «Автомобили и технологический машины»  
E-mail: lobov@psu.ru

#### **Афанасьев Валерий Валерьевич**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет  
Адрес: 614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29  
Аспирант  
E-mail: avv151@yandex.ru

N.V. LOBOV, V.V. AFANASYEV

## SELECTION OF TEST MODES FOR ELECTRIC VEHICLE MOTORS IN LABORATORY CONDITIONS

**Abstract.** Taking into account the peculiarities of the operation of an electric vehicle, a theoretical analysis of the existing typical operating modes of industrial electric motors has been carried out. The selection of loading modes of the electric motor has been carried out, which best correspond to the mode of movement of the vehicle under operating conditions. Out of 10 typical operating modes of electric motors, the choice of two modes is justified.

**Keywords:** electric vehicle, electric motor, driving cycle, loading modes, bench tests

### BIBLIOGRAPHY

1. Ev-volumes.com [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.ev-volumes.com/>.
2. Bussiness Stat [Elektronnyy resurs]. URL: <https://businesstat.ru/catalog/id81693/?yclid=13497249592485085183>.
3. Ptitsyn A.S., Chervenchuk V.D. Elektromobili ikh plyusy i minusy v sravnenii s avtomobilami, rabotayushchimi na DVS // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal "Alleya nauki". 2018. №11(27).
4. Kovarskiy E.M., Yanko YU.I. Ispytanie elektricheskikh mashin. M.: Energoatomizdat. 1990. 320 s.
5. GOST 11828-86. Mashiny elektricheskie vrashchayushchiesya. Obshchie metody ispytaniy; vved. 01.07.87. Moskva: IPK Izdatel'stvo standartov, 2003. 32 c.
6. GOST IEC 60034-1-2014. Mashiny elektricheskie vrashchayushchiesya. Chast' I. Nominal'nye znacheniya parametrov i ekspluatatsionnykh kharakteristik; vved. 01.03.16. Moskva: Standartinform, 2015. 57 c.
7. GOST 7217-87. Mashiny elektricheskie vrashchayushchiesya. Dvigateli asinkhronnye. Metody ispytaniy; vved. 01.01.88. Moskva: IPK Izdatel'stvo standartov, 2003. 39 s.
8. GOST R MEK 60034-4-2012. Mashiny elektricheskie vrashchayushchiesya. Chast' 4. Metody eksperimental'nogo opredeleniya parametrov sinkhronnykh mashin; vved. 23.11.12. Moskva: Standartinform, 2014. 83 c.
9. Broshyura reklamnaya [Elektronnyy resurs]. URL: <https://storage.yandexcloud.net/s3-moskvich-new/cms/1ee4/24/3100cce011808e4a61f3f147bc0a978af930e692.pdf>.
10. Sajt kompanii JAC (Kitay) [Elektronnyy resurs]. URL: <https://jacen.jac.com.cn/models/e-js4/>.
11. Sajt kompanii JAC (Kitay) [Elektronnyy resurs]. URL: <https://jacen.jac.com.cn/models/e-js4/>.
12. GOST R EN 1986-1 -2011. Avtomobili s elektricheskoy tyagoy. Izmerenie energeticheskikh kharakteristik. CH. 1. Elektromobili; vved. 14.06.11. Moskva: Standartinform, 2012. 20 c.
13. Sarach M.B., Sarach E.B., Zakharov YU.A. Stendovye ispytaniya elektrodvigateley EMRAX 208,228 // Izvestiya MGTU "MAMI". №1(43). 2020. S. 82-86.
14. Problemy i perspektivy razvitiya energetiki, elektrotehniki i energoeffektivnosti // Materia-ly VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. T. 1. S. 141-146.
15. Andreev V.A., Andreev T.P., Il'in S.A. i dr. Ispytatel'nyy stend tyagovykh elektrodvigateley na ZAO "Cheboksarskoe predpriyatiye "Sospel'" // Chuvashskiy gosudarstvennyy universitet. 2020. S. 404.
16. Pravilo EEK OON 85 ot 21.08.2013 g. [Elektronnyy resurs]. URL: <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2015/R085r1r.pdf>.

#### **Lobov Nikolay Vladimirovich**

Perm National Research Polytechnic University  
Adress: 614990, Russia, Perm, Komsomol'skaya str., 29  
Doctor of Technical Sciences  
E-mail: lobov@pstu.ru

#### **Afanasyev Valery Valer'evich**

Perm National Research Polytechnic University  
Adress: 614990, Russia, Perm, Komsomol'skaya str., 29  
Graduate student  
E-mail: avv151@yandex.ru

Научная статья  
УДК 691.175.2  
doi:10.33979/2073-7432-2024-4-3(87)-68-74

А.В. ГОРИН, И.В. РОДИЧЕВА, К.В. ВАСИЛЬЕВ, К.В. БОНДАРЕНКО

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЛИЯНИЯ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРОЧНОСТЬ ОБРАЗЦОВ ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ 3D-ПЕЧАТИ

*Аннотация. В статье рассмотрены тенденции использования аддитивных технологий в процессе производства деталей. Проведен анализ популярных полимерных материалов, используемых в процессе 3D-печати. Разобраны их физико-механические свойства. Проведен анализ исследований, проводимых с промерными материалами. На основе полученных данных был проведен эксперимент с полимером PLA, который заключался в определении изменения прочности образца, находящегося в смазочной среде в течение длительного промежутка времени. На основании полученных результатов были сделаны выводы и предложены рекомендации для улучшения как качества печати, так и для повышения физико-механических характеристик материала путем влияния на его надмолекулярную структуру или природу за счёт проникновения внутрь полимера пластификаторов.*

*Ключевые слова:* полимер, аддитивные технологии, прочность, смазочный материал

### Введение

Развитие современного машиностроения направлено на увеличение надежности и долговечности деталей и узлов механизмов, а также снижение металлоемкости конструкций из-за необходимости экономии дефицитных металлов или снижения общей массы изделия. Одним из способов решения поставленной проблемы является замена металла на полимерные материалы (пластмассы). Из пластмасс относительно просто получить изделия, отличающиеся высокой степенью готовности. При этом удобным и достаточно эффективным способом получения изделия из пластика является применение аддитивных технологий производства или 3D-печати [1, 2]. За последнее десятилетие аддитивное производство приобрело огромную популярность в среде машиностроения и ремонта автомобильной техники. Данные технологии производства позволяют изготавливать изделия сложной формы, которые в основном используются в качестве элементов и компонентов при изготовлении и ремонте узлов и агрегатов транспортных средств.

Материалы для изготовления этих деталей могут быть самого разного типа, к ним относятся металлические, керамические и полимерные материалы, а также комбинации в виде композитов, гибридных или функционально градуированных материалов [3, 4]. Можно уверенно сказать, что 3D-печать находит широкое применение в ремонте и тюнинге автомобилей, позволяя изготавливать различные детали и компоненты: кузовные запчасти, элементы тюнинга, компоненты интерьера, подвижные элементы узлов, компоненты подкапотного пространства, внешние детали [5, 6].

Современные технологии 3D-печати развиваются огромными темпами. Ученые всего мира пытаются решить многие вопросы связанные с точностью печати, с пределом выносливости используемых материалов, межфазным соединением их, продолжительностью эксплуатации, изучением механических свойств, разрушением, влиянием силы удара и короблением [7, 8]. Учитывая широкое применение 3D-печати и внедрение этой технологии в различные отрасли, необходимы новые исследования для изучения механической прочности 3D-печатных компонентов.

### Материал и методы

Несмотря на широкое распространение 3D-печати полимерами, механические характеристики полученного материала и влияние на них внешних факторов, включая природу среды и условия эксплуатации практически не изучены, несмотря на то что их физико-механические свойства [9-11] известны (табл. 1), при этом стоит учесть, что у разных произ-

водителей данных материалов они могут существенно отличаться [12].

Таблица 1 - Физико-механические свойства полимеров

Характеристика	Физико-механические свойства		
	ABC	PLA	PETG
Плотность	1,02-1,08 г/см <sup>3</sup>	1,23-1,25 г/см <sup>3</sup>	1,26 – 1,28 г/см <sup>3</sup>
Прочность при растяжении	35-50 МПа	57,8 МПа	60 - 66 МПа
Относительное удлинение	10-25 %	3,8 %	1,02 – 1,18 %
Усадка	0,4-0,7 %	не более 0,8 %	0,2 - 0,6 %
Твердость по Бринеллю	90-150 МПа	127-187 МПа	141-156 МПа
Температура размягчения	90-105° С	50° С	81 - 91° С
Предел текучести при растяжении	35,3 МПа	53-70 МПа	47,9 – 52,9 МПа
Модуль Юнга	1700-2930 МПа	350-2800 МПа	2010 - 2110 МПа

Анализ литературных источников показывает, что известны работы по исследованию механической прочности и структурной целостности деталей, изготовленных аддитивным способом [13-16]. Отдельно стоит обратить внимание на исследования растяжения и изгиба конструкций, изготовленных методом наплавленного моделирования [17]. С этой целью были напечатаны твердые и пористые непрерывные полимерные композиты, армированные углеродным волокном, с различными уровнями плотности заполнения, которые были подвергнуты испытаниям на растяжение и изгиб. Результаты показали увеличение прочности на растяжение и изгиб с увеличением содержания волокна. В то же время в [18] была изучена прочность соединения шовного соединения, напечатанного на 3D-принтере. В связи с этим были напечатаны различные интерфейсы и проведены испытания на растяжение, результаты экспериментов показали, что при плоской границе раздела материал в межфазном слое подвергался простому сдвигу, а при волнистой границе раздела материал подвергался сложной смешанной нагрузке.

Можно отметить, что в проведенном аналитическом исследовании не было выявлено работ, связанных с механической прочностью деталей после воздействия смазочных материалов. При этом данный спектр исследований является актуальным, так как детали, изготовленные методом 3D-печати из материалов ABC, PLA, PETG часто подвергаются воздействию смазочных материалов в процессе эксплуатации.

Для реализации предложенной проблемы были изготовлены образцы (рис. 1) на 3D-принтере Anycubic I3 Mega из полимера PLA. Образцы были изготовлены в виде цилиндров диаметром 15 мм, длиной – 25 мм. Для оценки физико-механических свойств полимера были изготовлены образцы с различным заполнением:

- заполнение 35 %: маркировка I;
- заполнение 50 %: маркировка II;
- заполнение 65 %: маркировка III;
- заполнение 80 %: маркировка IV;
- заполнение 95 %: маркировка V.

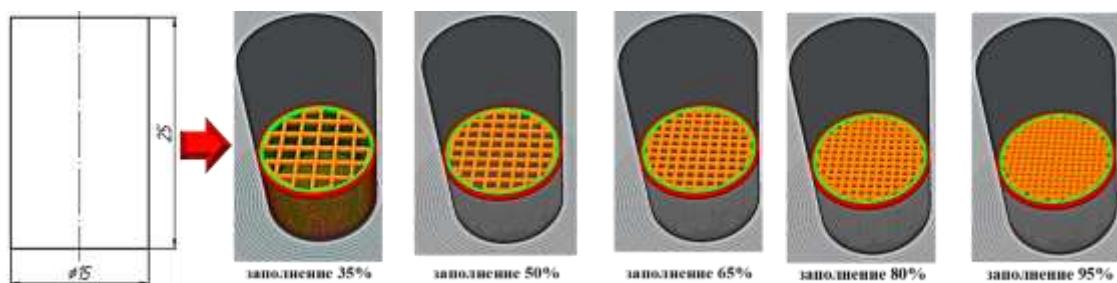


Рисунок 1 – Процесс изготовления опытных образцов

Для каждого этапа исследования были подготовлены три образца на каждый процент заполнения (35 %; 50 %, 65 %, 80 %, 95 %). В начале эксперимента три образца каждого про-

цента заполнения (35 %; 50 %, 65 %, 80 %, 95 %) были отложены, сторону, остальные образцы были погружены в два вида смазочного материала: Литол 24 и И-20А. Через определенные промежутки времени образцы доставались и проводились испытание их на прочность в соответствии с ГОСТ 4651–2014 и ГОСТ 28840–90 [19, 20]. Эксперимент проводился в течение 1132 дней.

### Теория

Испытания образцов проводили на разрывной машине универсального назначения с электронным силоизмерителем ИР5047-50 при температуре 20° С и относительной влажности 70 % (рис. 2).



Образцы для испытания устанавливались на опорную плиту, при этом их нагружение производилось сверху, плавным наращиванием усилия. Скорость перемещения платформы разрывной машины составляла не более 5 мм/мин. Нагрузка разрушения фиксировалась с помощью специального программного обеспечения, при этом распечатывался протокол испытаний [21].

### Результаты и обсуждение

Полученные экспериментальные данные каждого эксперимента, в течение всего срока его проведения, были обработаны их результаты, которые представлены на рисунке 3 и рисунке 4.

Исходя из полученных результатов, мы можем увидеть четкую картину изменения прочности полимера PLA в течение всего срока его проведения, которую можно разделить на три этапа. К первому этапу можно отнести период равный 3956 часов, когда прочность образцов резко возросла. Второй период равен 1320 часов – в это время прочность образцов незначительно снижается. Третий период равный 21888 часов происходит плавное снижение прочности образцов. При этом стоит отметить, что в конце эксперимента для всех образцов с разной степенью заполнения прочность полимера осталась выше чем у образцов, не находившихся в смазочных материалах.

Полученный результат экспериментальных исследований можно получить только в том случае если предположить, что часть смазочного материала проникла в внутрь полимера, что привело к увеличению сопротивления полимера при его деформации. Для этого было проведено морфологическое исследование поверхности образцов (рис. 5).

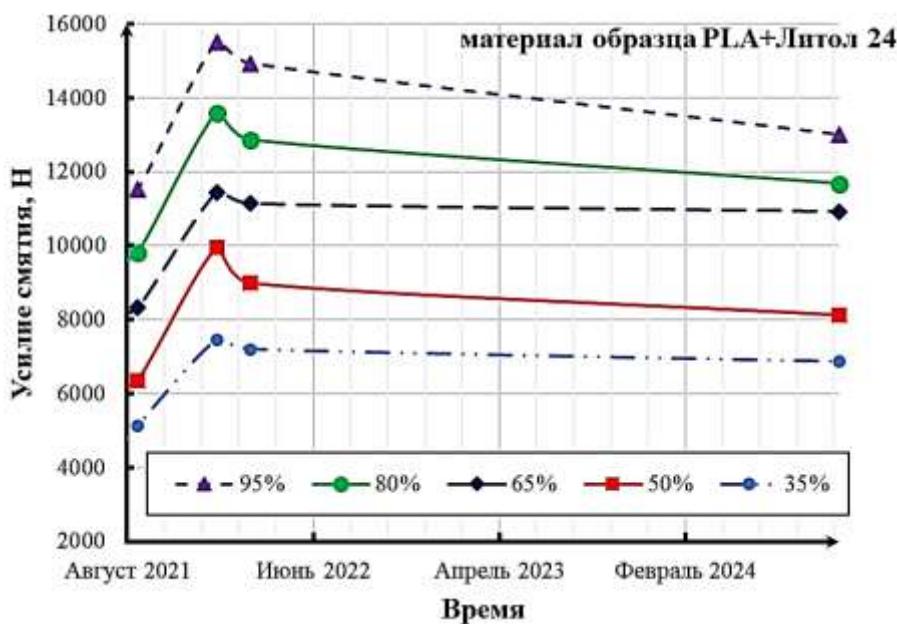


Рисунок 3 – Результаты экспериментальных исследований изменения прочности полимера PLA находившегося в смазочном материале Литол 24

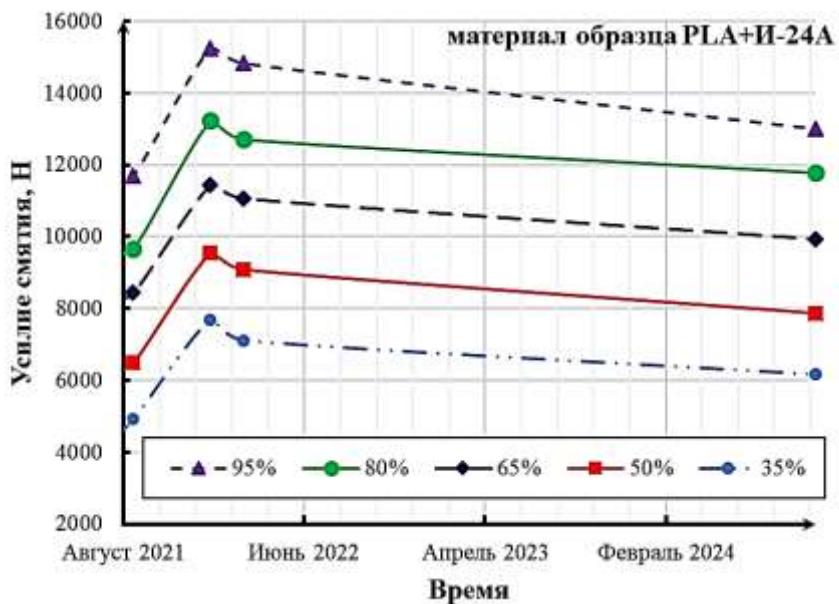


Рисунок 4 – Результаты экспериментальных исследований изменения прочности полимера PLA находившегося в смазочном материале И-20А

Для исследования морфологии поверхности образцов применяли сканирующий электронный микроскоп COXEM EM-30AX PLUS. В данном микроскопе в качестве источника электронов использовалась электронная пушка с термоэлектронным типом эмиссии, оснащенная эмиттером на основе вольфрамовой нити накаливания. Микроскоп COXEM EM-30AX PLUS имеет два режима работы вакуумной системы: высокий и низкий вакуум. Он оснащен детекторами SE для получения изображений с информацией о морфологии поверхности и BSE для получения изображений с информацией о вариациях состава на основе контраста по среднему атомному номеру. Стоит учесть, что дополнительную предварительную обработку изучаемых образцов не проводили.

По данным микрофотографий структура поверхности образцов представляет собой множество борозд. Расстояние между которыми колеблется от 1 до 4 мкм, толщина борозд составляет 3-5 мкм. На изображениях присутствуют множественные дефекты структуры,

обусловленные способом получения материала и представленные в виде наплыва полимера на основную структуру материала и отдельных глобуллярных включений размером 2-5 мкм.

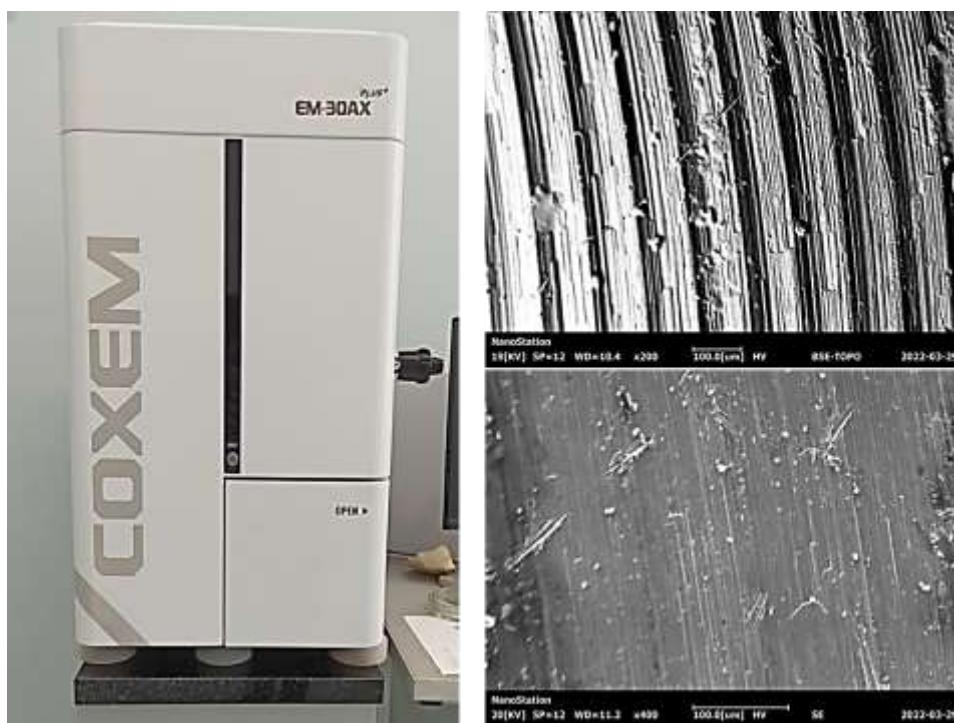


Рисунок 5 – Исследование морфологии поверхности образцов

Также на поверхности присутствуют поры размером 1-2 мкм. Полимерная природа материала, наличие на его поверхности пор и борозд делают возможным попадание активных веществ из окружающей среды во внутрь полимера.

#### Выводы

В результате проведения экспериментальных исследований с полимером PLA было установлено:

- пропитка образцов выполненных из полимера PLA смазочными материалами позволяет увеличить их прочность;
- несмотря на то, что прочность образцов пропитанных смазочным материалом снижается, при этом ее величина превышает на величину от 12 % до 17 % прочность образца, не пропитанного смазочным материалом;
- полученные результаты могут быть использованы как для улучшения качества печати, так и для повышения физико-механических характеристик материала путем влияния на его надмолекулярную структуру или природу за счёт проникновения внутрь полимера пластификаторов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Herpel C., Tasaka A., Higuchi S., Finke D., Kühle R., Odaka K., Rues S., Lux C.J., Yamashita S., Rammerlsberg P. et al. Accuracy of 3D printing compared with milling // A multi-center analysis of try-in dentures. J. Dent. 2021. №110. 103681.
2. Ezeh O.H., Susmel L. Fatigue strength of additively manufactured polylactide (PLA): Effect of raster angle and non-zero mean stresses // Int. J. Fatigue. 2019. №126. P. 319-326.
3. Qin Y., Ge G., Yun J., Tian X., Liu X., Han J., Gao S. Enhanced impregnation behavior and interfacial bonding in CF/PEEK prepreg filaments for 3D printing application // J. Mater. Res. Technol. 2022. №20. P. 4608-4623.
4. Davoudinejad A., Khosravani M.R., Pedersen D., Tosello G. Influence of thermal ageing on the fracture and lifetime of additively manufactured mold inserts. Eng. Fail. Anal. 2020. №115. 104694.
5. Dialami N., Chiumenti M., Cervera M., Chasco U., Reyes-Pozo G., Perez M.A. A review on additive manufacturing of polymer-fiber composites // Compos. Struct. 2022. №298. 115998.
6. Khosravani M.R., Soltani P., Reinicke T. Fracture and structural performance of adhesively bonded 3D-printed PETG single lap joints under different printing parameters // Theor. Appl. Fract. Mech. 2022. №116. 103087.
7. Atakok G., Kam M., Koc B.H. Tensile, three-point bending and impact strength of 3D printed parts using

- PLA and recycled PLA filaments: A statistical investigation // J. Mater. Res. Technol. 2022. №18. P. 1542-1554.
8. Peng C., Tran P., Mouritz A.P. A review on additive manufacturing of polymer-fiber composites. Compos. Struct. 2022. №300. 116167.
9. ABS/PLA пластики. ADDITIVE TECHNOLOGY GROUP (ATG) [Электронный ресурс]. URL: [https://atg3d.ru/services/3d/abs\\_pla](https://atg3d.ru/services/3d/abs_pla).
10. PLA-пластик для 3D-печати. 3Dtoday [Электронный ресурс]. URL: [https://3dtoday.ru/wiki/PLA\\_plastic/](https://3dtoday.ru/wiki/PLA_plastic/).
11. PETG пластик для 3D принтера. Вольтик.ру – все для макетов ваших идей [Электронный ресурс]. URL: <https://voltiq.ru/petg-plastic-for-3d-printing/>.
12. Испытания на сжатие. 3Dtoday [Электронный ресурс]. URL: <https://3dtoday.ru/blogs/imprinta/compression-testing-the-most-durable-material-for-3d-printing-the-depe?ysclid=m2d21es48k337154037/>.
13. Nurizada A., Kirane K. Induced anisotropy in the fracturing behavior of 3D printed parts analyzed by the size effect method. Eng. Fract. Mech. 2020. №239. 107304.
14. Khosravani M.R., Soltani P., Weinberg K., Reinicke T. Structural integrity of adhesively bonded 3D-printed joints. Polym. Test. 2021. №100. 107262.
15. Stoia D.I., Marsavina L., Linul E. Mode I critical energy release rate of additively manufactured polyamide samples. Theor. Appl. Fract. Mech. 2021. №114. 102968.
16. Luke S.S., Soares D., Marshall J.V., Sheddell J., Keles Ö. Effect of fiber content and fiber orientation on mechanical behavior of fused filament fabricated continuous-glass-fiber-reinforced nylon. Rapid Prototyping J. 2021. №27. P. 1346-1354.
17. Maqsood N., Rimascauskas M. Tensile and flexural response of 3D printed solid and porous CCFRPC structures and fracture interface study using image processing technique. J. Mater. Res. Technol. 2021. №14. P. 731-742.
18. Nash R.J., Li Y. Experimental and numerical analysis of 3D printed suture joints under shearing load. Eng. Fract. Mech. 2021. №253. 107912.
19. ГОСТ 4651-2014. Пластмассы. Метод испытания на сжатие.
20. ГОСТ 28840-90. Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Общие технические требования.
21. Родичев А.Ю., Токмакова М.А., Внуков С.С., Грядунова М.А. Изучение механических свойств фильтралента в зависимости от процента заполнения при прототипировании деталей межэтронных комплексов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии – Орел: Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева. №3(347). 2021. С. 146-152.

**Горин Андрей Владимирович**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева  
Адрес: 302020, Россия, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29  
К.т.н., доцент кафедры межэтроники, механики и робототехники  
E-mail: gorin57@mail.ru

**Родичева Ирина Владимировна**

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

**Васильев Кирилл Владимирович**

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

**Бондаренко Кристина Владимировна**

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

---

A.V. GORIN, I.V. RODICHEVA, K.V. VASILIEV, K.V. BONDARENKO

**STUDY OF THE EFFECT OF LUBRICANTS ON THE STRENGTH OF SAMPLES MADE BY 3D PRINTING**

*Abstract. The article discusses trends in the use of additive technologies in the production of parts. An analysis of popular polymeric materials used in the 3D printing process is conducted. Their physical and mechanical properties are analyzed. An analysis of studies conducted with measurement materials is conducted. Based on the data obtained, an experiment was conducted with PLA polymer, which consisted of determining the change in the strength of a sample located in a lubricating environment for a long period of time. Based on the results obtained, conclusions were*

*made and recommendations were proposed to improve the quality of printing, as well as to improve the physical and mechanical characteristics of the material by influencing its supramolecular structure or nature due to the penetration of plasticizers into the polymer.*

**Keywords:** polymer, additive technologies, strength, lubricant

## BIBLIOGRAPHY

1. Herpel C., Tasaka A., Higuchi S., Finke D., K?hle R., Odaka K., Rues S., Lux C.J., Yamashita S., Rammerls-berg P. et al. Accuracy of 3D printing compared with milling // A multicenter analysis of tryin dentures. *J. Dent.* 2021. №110. 103681.
2. Ezeh O.H., Susmel L. Fatigue strength of additively manufactured polylactide (PLA): Effect of raster angle and non-zero mean stresses // *Int. J. Fatigue.* 2019. №126. R. 319-326.
3. Qin Y., Ge G., Yun J., Tian X., Liu X., Han J., Gao S. Enhanced impregnation behavior and interfacial bond-ing in CF/PEEK prepreg filaments for 3D printing application // *J. Mater. Res. Technol.* 2022. №20. R. 4608-4623.
4. Davoudinejad A., Khosravani M.R., Pedersen D., Tosello G. Influence of thermal ageing on the fracture and lifetime of additively manufactured mold inserts. *Eng. Fail. Anal.* 2020. №115. 104694.
5. Dialami N., Chiumenti M., Cervera M., Chasco U., Reyes-Pozo G., Perez M.A. A review on additive manufacturing of polymer-fiber composites // *Compos. Struct.* 2022. №298. 115998.
6. Khosravani M.R., Soltani P., Reinicke T. Fracture and structural performance of adhesively bonded 3D-printed PETG single lap joints under different printing parameters // *Theor. Appl. Fract. Mech.* 2022. №116. 103087.
7. Atakok G., Kam M., Koc B.H. Tensile, three-point bending and impact strength of 3D printed parts using PLA and recycled PLA filaments: A statistical investigation // *J. Mater. Res. Technol.* 2022. №18. R. 1542-1554.
8. Peng C., Tran P., Mouritz A.P. A review on additive manufacturing of polymer-fiber composites. *Compos. Struct.* 2022. №300. 116167.
9. ABS/PLA plastiki. ADDITIVE TECHNOLOGY GROUP (ATG) [Elektronnyy resurs]. URL: [https://atg3d.ru/services/3d/abs\\_pla](https://atg3d.ru/services/3d/abs_pla).
10. PLA-plastik dlya 3D-pechati. 3Dtoday [Elektronnyy resurs]. URL: [https://3dtoday.ru/wiki/PLA\\_plastic/](https://3dtoday.ru/wiki/PLA_plastic/).
11. PETG plastik dlya 3D printeru. Vol'tik.ru - vse dlya maketov vashikh idey [Elektronnyy resurs]. URL: <https://voltiq.ru/petg-plastic-for-3d-printing/>.
12. Ispytaniya na szhatie. 3Dtoday [Elektronnyy resurs]. URL: <https://3dtoday.ru/blogs/imprinta/compression-testing-the-most-durable-material-for-3d-printing-the-depe?ysclid=m2d21es48k337154037>.
13. Nurizada A., Kirane K. Induced anisotropy in the fracturing behavior of 3D printed parts analyzed by the size effect method. *Eng. Fract. Mech.* 2020. №239. 107304.
14. Khosravani M.R., Soltani P., Weinberg K., Reinicke T. Structural integrity of adhesively bonded 3D-printed joints. *Polym. Test.* 2021. №100. 107262.
15. Stoia D.I., Marsavina L., Linul E. Mode I critical energy release rate of additively manufactured polyamide samples. *Theor. Appl. Fract. Mech.* 2021. №114. 102968.
16. Luke S.S., Soares D., Marshall J.V., Shadden J., Keles. Effect of fiber content and fiber orientation on me-chanical behavior of fused filament fabricated continuous-glass-fiber-reinforced nylon. *Rapid Prototyping J.* 2021. №27. R. 1346-1354.
17. Maqsood N., Rimascauskas M. Tensile and flexural response of 3D printed solid and porous CCFRPC struc-tures and fracture interface study using image processing technique. *J. Mater. Res. Technol.* 2021. №14. R. 731-742.
18. Nash R.J., Li Y. Experimental and numerical analysis of 3D printed suture joints under shearing load. *Eng. Fract. Mech.* 2021. №253. 107912.
19. GOST 4651-2014. Plastmassy. Metod ispytaniya na szhatie.
20. GOST 28840-90. Mashiny dlya ispytaniya materialov na rastyazhenie, szhatie i izgib. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya.
21. Rodichev A.YU., Tokmakova M.A., Vnukov S.S., Gryadunova M.A. Izuchenie mekhanicheskikh svoystv filamenta v zavisimosti ot protsenta zapolneniya pri prototipirovaniyu detaley mekhanicheskikh kompleksov // Fundamen-tal'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii - Orel: Orlovskiy gosudarstvennyy universitet imeni I.S. Turge-neva. №3(347). 2021. S. 146-152.

**Gorin Andrei Vladimirovich**

Orel State University

Adress: 302020, Russia, Orel, Naugorskoe shosse, 29

Candidate of Technical Sciences

E-mail: gorin57@mail.ru

**Rodicheva Irina Vladimirovna**

Orel State University

Adress: 302020, Russia, Orel, Naugorskoe shosse, 29

Postgraduate student

E-mail: irina.rodicheva.rodicheva@yandex.ru

**Vasiliev Kirill Vladimirovich**

Orel State University

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

Student

E-mail: gm.vasiljev485@gmail.com

**Bondarenko Kristina Vladimirovna**

Orel State University

Adress: 302020, Russia, Orel, Naugorskoe shosse, 29

Postgraduate student

E-mail: kristinka\_boom@mail.ru

Научная статья

УДК 656.132

doi:10.33979/2073-7432-2024-4-3(87)-75-80

Г.А. КРЫЛОВ, Н.В. ПОЖИВИЛОВ

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМЫ РАСХОДА ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ ДЛЯ ПЛАНОВО-ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНОГО РЕМОНТА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА АВТОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

***Аннотация:** Рассмотрен вопрос определения нормы расхода запасных частей для планово-предупредительного ремонта подвижного состава автотранспортного предприятия. Предложена методика определения нормы расхода на основе расчета гамма-процентного ресурса рассматриваемого компонента. В результате предложено проводить расчет нормы расхода запасных частей при планово-предупредительном ремонте как сумму нормы расхода при замене компонентов согласно регламенту завода изготавителя и нормы дополнительного расхода, при возникновении внезапных отказов компонентов до плановой их замены.*

***Ключевые слова:** надежность, норма расхода, планово-предупредительный ремонт, потребность в запасных частях, расчет потребности, ресурс*

### **Введение**

При эксплуатации подвижного состава в автотранспортном предприятии (АТП) для поддержания заданного уровня качества перевозки пассажиров или грузов необходимо обеспечить работоспособное состояние парка автомобилей [1]. Высокая степень готовности парка подвижного состава достигается за счет применения планово-предупредительной системы поддержания транспортных средств в исправном и работоспособном состоянии [2].

Для АТП целесообразно наряду с техническим обслуживанием (ТО) и текущим ремонтом (ТР) применять систему планово-предупредительного ремонта (ППР).

ППР предполагает проведение комплекса мероприятий, с целью обеспечить безотказную работу автомобиля за счет принудительной замены определенных компонентов с фиксированной периодичностью. Обычно, периодичность замены кратна периодичности проведения ТО автомобиля, а перечень заменяемых при ППР запасных частей дополняет перечень обязательных к замене расходных материалов при ТО.

Для определения оптимальной периодичности проведения регламентных работ в первую очередь ориентируются на обеспечение заданного уровня безотказности элементов, лимитирующих надежность транспортных средств, которые влияют непосредственно на дорожную и экологическую безопасность, а во вторую – учитывают технико-экономическое обоснование целесообразности замены отдельного элемента или их сочетание [3].

Внедрение ППР позволяет избежать аварийных ситуаций и поддерживать важные системы транспортного средства в работоспособном состоянии. При этом, с одной стороны, необходимо обеспечить заданный уровень работоспособности парка автомобилей, а с другой избежать высокие материальные затраты предприятия из-за преждевременных замен компонентов транспортных средств с не полностью выработанным ресурсом [4].

Подразделение материально-технического обеспечения АТП призвано обеспечить своевременную поставку необходимых запасных частей на склады предприятия. Потребность в запасных частях целесообразно определять по результатам проводимых расчетов [5], причем для компонентов ТО, ТР и ППР методика определения потребности различается. В статье рассматривается, предлагаемый авторами, подход по расчету потребности в запасных частях при проведении ППР для парка автомобилей АТП.

### Материал и методы

Потребность в запасных частях ППР складывается из потребности на проведение работ ППР с фиксированной периодичностью и потребности на выполнение текущего ремонта этих же компонентов при возникновении их отказов. При расчете необходимо учитывать вероятности замены компонента по периодичности (проведения ППР) и при возникновении отказа (проведение ТР), а также значения количества подвижного состава и пробег единицы транспортного средства, принятые за нормативные на предприятии.

Расчет нормы расхода рассматриваемого компонента производится по следующей формуле:

$$N_i^{\text{ппр}} = k_i \cdot \left( \gamma_i^{\text{ппр}} \cdot \frac{A_i^H \cdot L_i^H}{L_i^{\text{ппр}}} + (1 - \gamma_i^{\text{ппр}}) \cdot \frac{A_i^H \cdot L_i^H}{L_i^{\text{доп}}} \right), \text{ шт.}$$

где  $k_i$  – количество единиц рассматриваемого компонента, которыми оснащено транспортное средство;

$\gamma_i^{\text{ппр}}$  – вероятность выполнения ППР рассматриваемой запасной части (при плановой замене);

$(1 - \gamma_i^{\text{ппр}})$  – вероятность выполнения ТР рассматриваемой запасной части (при замене в результате возникновения отказа);

$A_i^H$  – количество автомобилей рассматриваемой модификации, принятое за нормативное, ед.;

$L_i^H$  – годовой пробег единицы подвижного состава в год, принятый за норматив, тыс. км;

$L_i^{\text{ппр}}$  – принятая периодичность замены  $i$ -ой запасной части при выполнении ППР, тыс. км;

$L_i^{\text{доп}}$  – средняя наработка на отказ  $i$ -ой запасной части, при отказе до проведения замены по фиксированной периодичности при проведении ППР, тыс. км.

Количество автомобилей и пробег единицы транспортного средства принимаются в рамках применяемой в АТП системы нормирования расхода запасных частей, вероятность выполнения ППР и средняя наработка на отказ вне графика замены определяются расчетным способом, а принимаемая периодичность замены при выполнении ППР может быть определена на основе различных подходов: с использованием стоимостного критерия [6], по трудоемкости дополнительных операций при ТО [7], по заданному уровню безотказности и другим.

Методика проведения расчета  $L_i^{\text{ппр}}$  по заданному уровню безотказности приведена ниже.

На *первом* этапе формируется исходная выборка значений случайных величин наработка на отказ ( $L_i$ ) рассматриваемого компонента/узла/агрегата на основе которой будут проводится дальнейшие расчеты.

На *втором* этапе определяются основные статистические характеристики выборки, в частности, математическое ожидание ( $\bar{L}_i$ ), стандартное отклонение математического ожидания ( $\sigma_i$ ) и коэффициент вариации ( $v_i$ ) по формулам 1, 2 и 3 соответственно.

$$\bar{L}_i = \frac{\sum L_i}{N}, \text{ тыс. км}; \quad (1)$$

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum (L_i - \bar{L}_i)^2}{N-1}}, \text{ тыс. км}; \quad (2)$$

$$v_i = \frac{\sigma}{\bar{L}}, \quad (3)$$

где  $N$  – объем рассматриваемой выборки

На *третьем* этапе производится расчет значения гамма-процентного ресурса рассматриваемого компонента (при нормальном законе распределения наработки на отказ):

$$L_{i,\gamma} = \bar{L}_i \cdot (1 - u_{(\gamma+1)/2} \cdot v_i), \text{ тыс. км},$$

где  $\gamma$  – вероятность того, что изделие не достигнет предельного состояния;

$u_{(\gamma+1)/2}$  – квантиль нормального закона распределения.

На *четвертом* этапе производится сравнение полученного значения гамма-процентного

ресурса  $L_{i,\gamma}$  рассматриваемого компонента и периодичности выполнения ближайшего к нему ТО автомобиля. Принимаемое значение гамма-процентного ресурса устанавливается кратным периодичности ТО с ближайшим к ТО значением, и будет соответствовать принимаемой периодичности замены  $i$ -ой запасной части при выполнении ППР (рис. 1). Установленная изготавителем транспортных средств периодичность проведения ТО может быть скорректирована для условий эксплуатации автомобилей в АТП по существующим методам [8].

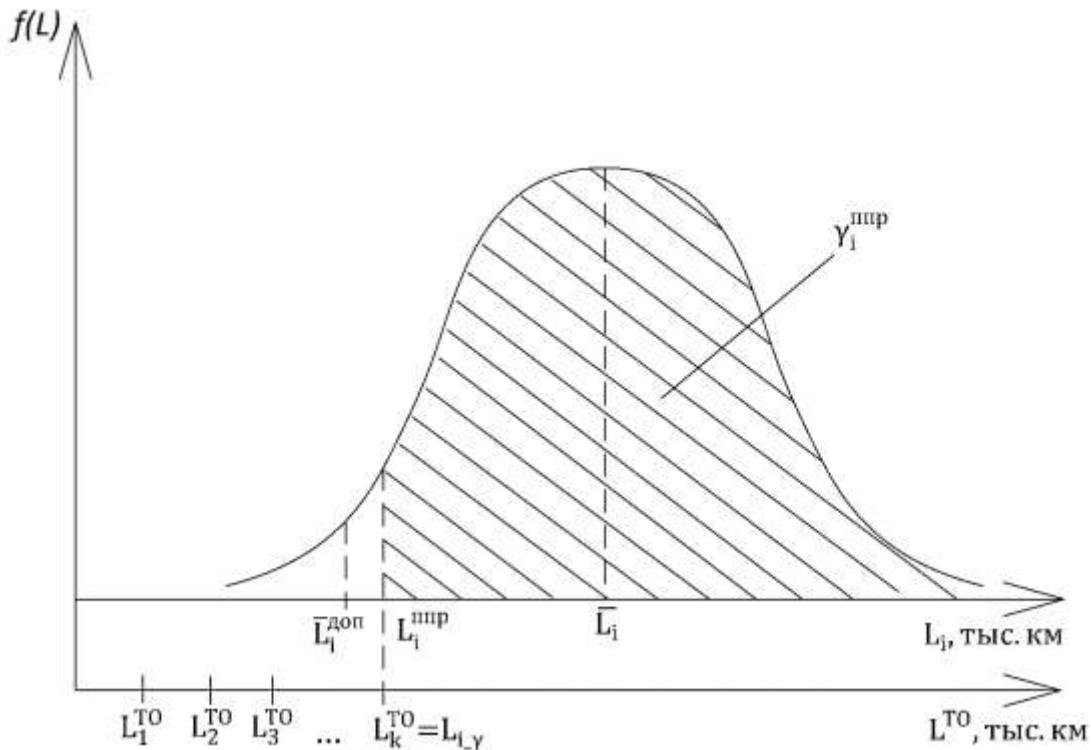


Рисунок 1 – Иллюстрация параметров методики расчета периодичности выполнения замены запасной части при проведении ППР

Далее производится расчет значения вероятности  $\gamma_i^{нпр}$  для периодичности замены  $i$ -ой запасной части при выполнении ППР, для этого определяется значение квантиля нормально-го закона распределения:

$$u_{(\gamma+1)/2} = \frac{1 - \frac{L_i^{нпр}}{L_i}}{\nu_i},$$

По расчетному значению  $u_{(\gamma+1)/2}$  определяется ближайшее значение вероятности  $\gamma_i^{нпр}$ .

На пятом этапе проводится расчет математического ожидания наработки на отказ для части рассматриваемой выборки, значения которой находятся ниже периодичности замены  $i$ -ой запасной части при выполнении ППР ( $L_i^{доп}$ ).

#### Теория / Расчет

Рассмотрим применение предлагаемого подхода по расчету нормы расхода компонента для ППР на примере номенклатурной позиции «насос жидкостной принудительной циркуляции охлаждающей жидкости» автобуса ЛиАЗ-529265. Принятое в АТП нормативное количество автомобилей рассматриваемой модификации равно 100 ед., а годовой пробег единицы подвижного состава в год, принятый за норматив равен 60 тыс. км. Значение периодичности плановой замены рассматриваемого компонента определялось по заданному вероятности безотказной работы – не ниже 0,90.

Рассматривалась выборка значений отказов компонента для парка подконтрольных автобусов.

Для выборки были рассчитаны значения основных статистических характеристик: математическое ожидание  $\bar{L} = 193$  тыс. км.; стандартное отклонение  $\sigma = 41$  тыс. км и коэффициент вариации  $\nu = 0,21$ .

Значения гамма-процентного ресурса рассматриваемого компонента:

$$L_{\gamma=0,9} = 193 \cdot (1 - 1,645 \cdot 0,21) = 126 \text{ тыс. км.}$$

Периодичность выполнения ТО-2 для автобусов ЛиАЗ-529265 составляет 30 тыс. км. Ближайшее кратное периодичности ТО-2 значение принято 120 тыс. км. Соответственно, планово-предупредительную замену рассматриваемого компонента целесообразно проводить при каждом четвертом ТО-2 с принимаемой периодичностью  $L_i^{\text{ппр}} = 120$  тыс. км.

Значение вероятности  $\gamma_i^{\text{ппр}}$  для принимаемого значения периодичности замены при ППР определяется по значению квантиля нормального закона распределения

$$u_{(\gamma+1)/2} = \frac{1 - \frac{120}{193}}{0,21} = 1,80.$$

Значение вероятности  $\gamma_i^{\text{ппр}}$  для  $u_{(\gamma+1)/2} = 1,80$  составляет 0,965.

Математического ожидания для части рассматриваемой выборки, значения которой находятся ниже принимаемого значения гамма-процентного ресурса  $\bar{L}_t^{\text{доп}} = 80$  тыс. км. Производился расчет нормы расхода рассматриваемого компонента по следующей формуле:

$$N_{\text{ппр}} = 1 \cdot \left( 0,965 \cdot \frac{100 \cdot 60}{120} + (1 - 0,965) \cdot \frac{100 \cdot 60}{80} \right) = 48,25 + 2,63 = 50,88 \text{ шт.}$$

Таким образом, расчетное значение нормы расхода рассматриваемого компонента для парка из 100 автобусов ЛиАЗ-529265 при условном годовом пробеге единицы подвижного состава 60 тыс. км равно 50,88 шт. При определении нормы расхода запасных частей нет необходимости в округлении до целого числа.

Для расчета потребности в номенклатурной позиции «насос жидкостной принудительной циркуляции охлаждающей жидкости» на плановый период целесообразно принимать полученное значение, при этом 48,25 шт. – норма на замену в рамках ППР по фиксированной периодичности, а 2,63 шт. – норма на замену в рамках текущего ремонта при возникновении отказа.

### Результаты и обсуждение

На основе разработанного подхода получено значение нормы расхода насоса жидкостного принудительной циркуляции охлаждающей жидкости автобуса ЛиАЗ-529265 равное 50,88 шт., при этом большая часть нормы (94,8 %) учитывает объем запасных частей на замену по фиксированной периодичности в рамках ППР, а оставшаяся часть (5,2 % от нормы) учитывает норму количества запасных частей на устранение отказов до проведения плановой замены насоса, при этом по расчету будет обеспечена безотказная работа компонента с вероятностью  $\gamma_i^{\text{ппр}} = 0,965$ .

При планировании потребности на рассматриваемый период целесообразно закладывать дополнительный резерв расхода запасных частей [9].

На сегодняшний день происходит активное внедрение системы непрерывного мониторинга технического состояния транспортных средств [10, 11], позволяющей за счет встроенной системы бортового диагностирования автомобиля организовать гибкую систему ТО и ТР под каждый индивидуальный автомобиль [12, 13], что в перспективе позволит автоматизировать процесс сбора и анализа информации о показателях надежности транспортных средств для определения норм расхода запасных частей.

### Выводы

- Запасные части, замена которых проводится в рамках ППР могут заменяться по определенной периодичности, а также в рамках ТР при возникновении их отказа до очередной плановой замены. Разработанная методика определения норм замены учитывает потребности в плановой замене при ППР и потребности в проведении ТР рассматриваемого компонента.

- Определение норм расхода запасных частей для ППР зависит от количества уста-

навливаемых на автомобиль рассматриваемых запасных частей, периодичности выполнение замены запасной части в рамках плановой замены при ППР, а также среднее значение наработки на отказ до проведения плановой замены в рамках ППР.

3. Внедрение методики расчета норм расхода запасных частей для ППР позволит с высокой достоверностью определять необходимый объем поставляемых запасных частей, что позволит сократить время простоя в ожидании запасных частей за счет хранения востребованного объема сменных компонентов, что, как следствие, приведет к повышению уровня готовности подвижного состава АТП.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Обшивалкин М.Ю., Епифанов В.В., Генералова К.А. Взаимосвязь показателей технической эксплуатации автомобильного пассажирского транспорта с показателями качества перевозок на регулярных маршрутах межмуниципальных перевозок // Мир транспорта и технологических машин. 2022. №3-3(78). С. 3-9. DOI 10.33979/2073-7432-2022-3(78)-3-3-9. EDN IPKXYZ.
2. Шутов В.М., Тюрин Д.С., Федотов Д.Ю., Лянденбурский В.В. Анализ систем технического обслуживания и ремонта автомобилей // Приднепровский научный вестник. 2024. Т. 1. №4. С. 64-67. EDN IFCSSJ.
3. Зенченко В.А., Григорьев М.В. Режимы обслуживания электронных систем управления двигателем // Автотранспортное предприятие. 2004. №8. С. 16-21. EDN AWTVGV.
4. Манаков А.Л., Кирпичников А.Ю., Тюнокова Т.К. Анализ направлений совершенствования технической эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. №5(100). С. 127-131. EDN TVQUML.
5. Поживилов Н.В., Солнцев А.А. Определение объема закупок запасных частей для линейного подвижного состава автобусного автотранспортного предприятия // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2023. №2(73). С. 84-92. EDN СВХСАН.
6. Сарбаев В.И., Гусев А.Г. Обоснование периодичностей предупредительных замен деталей заднего моста автобуса // Актуальные вопросы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта: Сборник научных трудов по материалам 82-ой научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ. Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ). 2024. С. 34-38. EDN FXOSCI.
7. Шипов Н.В., Максимов В.А., Поживилов Н.В. Применение планово-предупредительного ремонта при эксплуатации линейных городских автобусов // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2021. №1. С. 77-83. DOI 10.15593/24111678/2021.01.10. EDN WTOXTC.
8. Шаихов Р.Ф. Определение оптимальной периодичности обслуживания грузовых автомобилей на автотранспортном предприятии // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2019. №2. С. 80-86. DOI 10.15593/24111678/2019.02.10. EDN IKBTAQ.
9. Никитченко С.Л., Гринченков Д.В. Совершенствование методов резервирования запасных частей для сельскохозяйственной техники на основе генетических алгоритмов // Агроинженерия. 2022. Т. 24. №6. С. 25-31. DOI 10.26897/2687-1149-2022-6-25-31. EDN DEUFEL.
10. Григорьев М.В. Перспективы развития дистанционного мониторинга технического состояния автоматизированных транспортных средств // Проблемы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта: Сборник научных трудов, посвященный 85-летию кафедры ЭАТиС МАДИ, по материалам 79-й научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ. Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ). 2021. С. 125-134. EDN AVNJJZ.
11. Нгуен М.Т. Диагностика автомобильного двигателя на основе нейронной сети // Молодой ученый. 2019. №26. С. 76-81.
12. Черняев И.О. О необходимости и механизме формирования систем технической эксплуатации автотранспортных средств на основе непрерывного контроля их технического состояния // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2019. №4(57). С. 167-172.
13. Авраменко В.И., Будорагин Ю.А., Борисов С.О. Развитие планово-предупредительной системы ТО и ремонта машин на стадии эксплуатации // Научный резерв. 2018. №4(4). С. 41-50. EDN YVRCTZ.

### **Крылов Григорий Александрович**

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

Адрес: 125319, Россия, Москва, Ленинградский пр., 64

Старший преподаватель кафедры «Прикладная математика»

E-mail: grigory\_a\_krylov@mail.ru

### **Поживилов Никита Васильевич**

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

Адрес: 125319, Россия, Москва, Ленинградский пр., 64

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

E-mail: nikita.pozhivilov@madi.ru

## DETERMINATION OF CONSUMPTION RATES OF SPARE PARTS FOR SCHEDULED PREVENTIVE REPAIR OF FLEET OF A TRANSIT AGENCY

**Abstract:** The issue of determining the consumption rate of spare parts for scheduled preventive maintenance of rolling stock of a motor transport enterprise is considered. A method for determining the consumption rate based on calculating the gamma-percentage resource of the component in question is proposed. As a result, it was proposed to calculate the consumption rate of such spare parts as the sum of the consumption rate based on the frequency of the vehicle's mileage and the additional consumption rate in the event of failures.

**Keywords:** reliability, consumption rate, scheduled preventive maintenance, need for spare parts, calculation of needs, resource

### BIBLIOGRAPHY

1. Obshivalkin M.YU., Epifanov V.V., Generalova K.A. Vzaimosvyaz` pokazateley tekhnicheskoy ekspluatsii avtomobil'nogo passazhirskogo transporta s pokazatelyami kachestva perevozok na reguljarnykh marshrutakh mezhmunitsipal'nykh perevozok // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2022. №3-3(78). S. 3-9. DOI 10.33979/2073-7432-2022-3(78)-3-3-9. EDN IPKXYZ.
2. Shutov V.M., Tyurin D.S., Fedotov D.YU., Lyandenburkskiy V.V. Analiz sistem tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta avtomobiley // Pridneprovskiy nauchnyy vestnik. 2024. T. 1. №4. S. 64-67. EDN IFCSSJ.
3. Zenchenko V.A., Grigor'ev M.V. Rezhimy obsluzhivaniya elektronnykh sistem upravleniya dvigatelem // Avtotransportnoe predpriyatiye. 2004. №8. S. 16-21. EDN AWTVGV.
4. Manakov A.L., Kirpichnikov A.YU., Tyunyukova T.K. Analiz napravleniy sovershenstvovaniya tekhnicheskoy ekspluatsii transportno-tehnologicheskikh mashin i kompleksov // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2015. №5(100). S. 127-131. EDN TVQUML.
5. Pozhivilov N.V., Solntsev A.A. Opredelenie ob'ema zakupok zapasnykh chastei dlya lineynogo podvizhnogo sostava avtobusnogo avtotransportnogo predpriyatiya // Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI). 2023. №2(73). S. 84-92. EDN CBXCAH.
6. Sarbaev V.I., Gusev A.G. Obosnovanie periodichnostey predupreditel'nykh zamen detaley zadnego mosta avtobusa // Aktual'nye voprosy tekhnicheskoy ekspluatsii i avtoservisa podvizhnogo sostava avtomobil'nogo transporta: Sbornik nauchnykh trudov po materialam 82-oy nauchno-metodicheskoy i nauchno-issledovatel'skoy konferentsii MADI. Moskva: Moskovskiy avtomobil'no-dorozhnyy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet (MADI). 2024. S. 34-38. EDN FXOSCI.
7. Shipov N.V., Maksimov V.A., Pozhivilov N.V. Primenenie planovo-predupreditel'nogo remonta pri ekspluatsii lineynykh gorodskikh avtobusov // Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya. 2021. №1. S. 77-83. DOI 10.15593/24111678/2021.01.10. EDN WTOXTC.
8. Shaikhov R.F. Opredelenie optimal'noy periodichnosti obsluzhivaniya gruzovyykh avtomobiley na avtotransportnom predpriyatiy // Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya. 2019. №2. S. 80-86. DOI 10.15593/24111678/2019.02.10. EDN IKBTAQ.
9. Nikitchenko S.L., Grinchenkov D.V. Sovershenstvovanie metodov rezervirovaniya zapasnykh chastei dlya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki na osnove geneticheskikh algoritmov // Agroinzheneriya. 2022. T. 24. №6. S. 25-31. DOI 10.26897/2687-1149-2022-6-25-31. EDN DEUFEL.
10. Grigor'ev M.V. Perspektivnye razvitiya distantsionnogo monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya avtomatizirovannykh transportnykh sredstv // Problemy tekhnicheskoy ekspluatsii i avtoservisa podvizhnogo sostava avtomobil'nogo transporta: Sbornik nauchnykh trudov, posvyashchenny 85-letiyu kafedry EATiS MADI, po materialam 79-iy nauchno-metodicheskoy i nauchno-issledovatel'skoy konferentsii MADI. Moskva: Moskovskiy avtomobil'no-dorozhnyy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet (MADI). 2021. S. 125-134. EDN AVNJJZ.
11. Nguen M.T. Diagnostika avtomobil'nogo dvigatelya na osnove neyronnoy seti // Molodoy uchenyy. 2019. №26. S. 76-81.
12. Chernyaev I.O. O neobkhodimosti i mekhanizme formirovaniya sistem tekhnicheskoy ekspluatsii avtotransportnykh sredstv na osnove nepreryvnogo kontrolya ikh tekhnicheskogo sostoyaniya // Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019. №4(57). S. 167-172.
13. Avramenko V.I., Budoragin YU.A., Borisov S.O. Razvitiye planovo-predupreditel'noy sistemy TO i remonta mashin na stadii ekspluatsii // Nauchnyy rezerv. 2018. №4(4). S. 41-50. EDN YVRCTZ.

**Krylov Grigory Aleksandrovich**

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)  
Address: 125319, Russia, Moscow  
Senior Lecturer  
E-mail: grigory\_a\_krylov@mail.ru

**Pozhivilov Nikita Vasilevich**

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)  
Address: 125319, Russia, Moscow  
Candidate of technical sciences  
E-mail: nikita.pozhivilov@madi.ru

Научная статья

УДК 629.4.021

doi:10.33979/2073-7432-2024-4-3(87)-81-88

С.Н. ЗЛОБИН, Е.В. НИКОЛАЕВ

## ПОВЫШЕНИЕ ТЯГОВЫХ СВОЙСТВ ЛОКОМОТИВОВ

**Аннотация.** Рассмотрен вопрос дальнейшего повышения тяговых свойств новых грузовых и маневровых локомотивов. В качестве основных направлений работ, которые могут дать практический результат, определены совершенствование экипажной части локомотивов. Предложено для перспективных магистральных локомотивов использовать диаметр колес 1250 мм, сбалансированное рессорное подвешивание, двухосные тележки, для маневровых тепловозов с диаметром колес 1050 мм предложены меры совершенствования опорно-возвращающих устройств.

**Ключевые слова:** локомотивная тяга, сцепление колеса с рельсом, экипажная часть, усилители сцепления, тяговый привод локомотива

### Введение

Основным препятствием к повышению осевой силы тяги локомотивов в настоящее время является ограничение по сцепным свойствам. Расчетный коэффициент силы тяги отечественных локомотивов с асинхронными ТЭД и поосным регулированием находится на уровне  $\psi = 0,27 \dots 0,32$  (рис. 1).

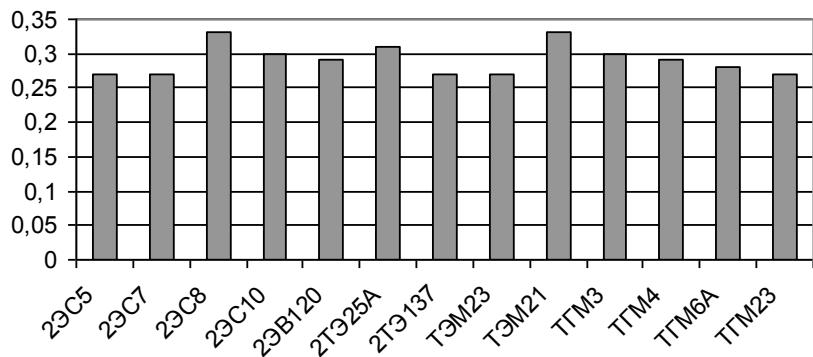


Рисунок 1 – Значения отношения расчетной силы тяги к сцепному весу ( $\psi$ ) для разных отечественных локомотивов

Проблема увеличения тяговых качеств локомотивов заключается в необходимости поиска способов повышения коэффициента сцепления. В данной статье представлена попытка решения указанной проблемы.

### Материал и методы

Как показано в [1], результаты исследований коэффициента сцепления колеса с рельсом, проведенные в разных странах, существенно различаются и не позволяют определить зависимости коэффициента сцепления от различных действующих факторов для произвольного случая. Сцепные свойства в эксплуатации зависят от следующих основных факторов:

- упругопластических деформаций колеса и рельса в зоне контакта и упругого скольжения;
- величины разного вида нагрузок на ось и усилий на колесо, определяемого крутящим моментом;
- изменения свойств материала в зоне контакта при действии различных факторов.

В работе [2] была проведена систематизация известных методов повышения тяговых свойств локомотивов. Все способы увеличения силы тяги делятся на три группы:

- без изменения сцепных свойств;
- путем регулирования сцепления;
- не зависящие от сцепных свойств.

### **Теория**

Увеличение тяги без изменения физических свойств сцепления между колесом и рельсом можно реализовать путем изменения конструкции тягового подвижного состава и пути.

Для экипажной части современных локомотивов «коэффициент использования сцепного веса достигает 0,95 при квазистатических нагрузках, поэтому возможности повышения сцепных свойств за счет снижения перераспределения нагрузки по осям и применения додружателей можно считать практически исчерпанными» [3].

В работе [3] прогнозируется, что увеличение диаметра колеса с 1050 до 1250 мм коэффициент сцепления увеличится на 4 %, со ссылкой на исследования К. Крафта [4]. При этом возникает вопрос, насколько можно судить об изменении коэффициента сцепления от диаметра колес при сравнении локомотивов с разной конструкцией экипажной части.

Для оптимизации величины продольного скольжения колесной пары по рельсу в настоящее время используются системы поосного и потележечного регулирования. Так, согласно [5], значения скорости скольжения, при которых наблюдается максимум силы сцепления, могут колебаться от 0,3...1,5 % до 3...15 %.

К недостаточно изученным факторам относится влияние на коэффициент сцепления динамического крутящего момента в тяговом приводе [6]. Как указано в [7], применение упругого колеса в тяговом приводе грузовых тепловозов, приведя к снижению динамического момента примерно втрое, уменьшило склонность к боксированию и на 15 % снизило интенсивность износа бандажей. В связи со значительным разбросом коэффициента сцепления в зависимости от состояния поверхности колеса и рельса долгие годы во всем мире велись поиски методов влияния на физические свойства системы «колесо-рельс» в месте контакта. Увеличение физических свойств сцепления возможно по следующим признакам:

- изменение свойств поверхностей вне зоны контакта;
- изменение свойств поверхностей в зоне контакта;
- изменение свойств поверхностей применением других материалов.

Анализ ряда работ, позволяет сделать вывод, что очистка рельсов может найти применение в ближайшей перспективе в основном как средство повышения весовых норм на отдельных небольших участках с ухудшенными условиями сцепления по сравнению с общесетевыми, реализуемое с помощью рельсоочистительных машин. Методы, основанные на воздействии на контактирующие тела в зоне контакта, можно разделить на две группы: с применением и без применения третьего тела. Методы, не основанные на применении третьего тела, делятся в зависимости от используемых физических эффектов: электрический ток, магнитное поле и т.п.

В настоящее время из способов невозвратного воздействия с использованием третьего тела применяется подача песка [8-11], что, в зависимости от состояния рельсов, позволяет увеличить коэффициент сцепления до 70 % по сравнению с исходным. Недостатки способа общеизвестны – это загрязнение верхнего строения пути, увеличение износа колес и рельсов, сложность дозирования подачи песка соответственно его потребности и низкая эффективность использования на увлажненных, мокрых и покрытых льдом рельсах.

Среди методов изменения трибологических свойств в точке контакта без применения третьих тел, за счет различных физических эффектов, в настоящее время известны два: за счет использования электрического тока и магнитного поля, которые позволяют обеспечить безынерционность регулирования сцепных свойств при полном отсутствии расходуемых материалов.

В 60-е годы прошлого века было замечено, что при увеличении тока двигателей электровозов постоянного тока коэффициент сцепления растет, достигая 0,49 при токе 500 А. В последнее время исследования возобновлены, при этом для регулирования сцепления предлагается использовать отдельный контур тока [12], при этом возможно совмещение с контуром тягового тока путем коммутации контуров, так как эффект проявляется и при подаче импульсного тока. Как показали исследования, применение электрического тока повышает коэффициент трения примерно вдвое, и для сухих поверхностей величина коэффициента трения превышает 0,5. Это явление объясняется действием электропластического эффекта, приводящего к увеличению адгезионной составляющей силы трения. При воздействии магнитного поля на зону контакта колеса с рельсом первоначально считалось, что увеличение силы тяги происходит только за счет увеличения притяжения колеса к рельсу. Впоследствии различными исследователями было доказано [13-16], что магнитные поля с индукцией порядка 1,5 Тл и выше увеличивают коэффициент сцепления пары «металл по металлу», наблюдаемый эффект составлял от 22 % в [15] до двукратного в [14]. В настоящее время изменение коэффициента сцепления объясняется с помощью магнитопластических эффектов. Таким образом, к достоинствам данного способа относится то, что контуры электрического тока полностью изолированы от деталей локомотива и пути и не зависят от наличия токопроводящих стыков и сопротивления в контакте колеса и рельса. К недостаткам способа относится недостаточно изученная зависимость эффекта повышения коэффициента трения от контактного давления колеса на рельс и размера площадки контакта, а также необходимость оборудования локомотива устройствами, имеющими значительные размеры и вес.

Резюмируя вышесказанное, можно сформулировать основную задачу по дальнейшему повышению тягово-цепных свойств локомотивов, не как поиск мер, направленных на достижение максимально возможного коэффициента сцепления колеса с рельсом, а на повышение его минимальных значений в эксплуатации. Это позволяет выделить следующие направления работ. Во-первых, это уменьшение влияния факторов, влияющих на ухудшение сцепных свойств за счет совершенствования экипажной части локомотивов:

- снижение динамического перераспределения нагрузок по осям при прохождении неровностей пути;
- улучшения макрогоеометрии контактирующих тел;
- снижение продольного скольжения, вызванного динамическими моментами в приводе.

Во-вторых, это применение безынерционного регулирования коэффициента сцепления с помощью воздействия на контакт колеса с рельсом электрического тока, магнитного поля, а также обоих этих факторов.

### ***Результаты и обсуждение***

Для решения рассмотренной выше проблемы предлагаются следующие пути совершенствования тележек локомотивов.

Поскольку конструктивные решения экипажной части локомотивов взаимосвязаны, их необходимо рассматривать в комплексе.

Из возможных мероприятий, относящихся к макрогоеометрии контактирующих поверхностей, по мнению авторов, имеет смысл вернуться к использованию колес диаметром 1250 мм для перспективных грузовых тепловозов с повышенной нагрузкой на ось, предназначенных для работы на Восточном полигоне, и внести такое требование в документы, регламентирующие поставку РЖД локомотивов такого типа. Создание подобных тепловозов в нашей стране в 70 – 80-е годы прошлого века (2ТЭ121, ТЭ136) подтвердило выводы о возможности улучшения сцепных свойств.

Другим вариантом могут служить тележки с радиальной установкой колесных пар, примененные в отечественной практике на тепловозе 2ТЭ25А «Пересвет» производства АО УК БМЗ (АО «Трансмашхолдинг»).

К сожалению, при проектировании новых локомотивов требование снижения боковой составляющей скольжения не всегда учитывается. Так, в проекте тепловоза 2ТЭ30а для Восточного полигона предполагалось делать трехосную тележку с индивидуальным рессорным

подвешиванием, что, при проезде неровностей, ведет к неравномерному распределению вертикальной нагрузки по осям тележки [17]. Данное обстоятельство не было учтено и при последующей доработке проекта (рис. 2).

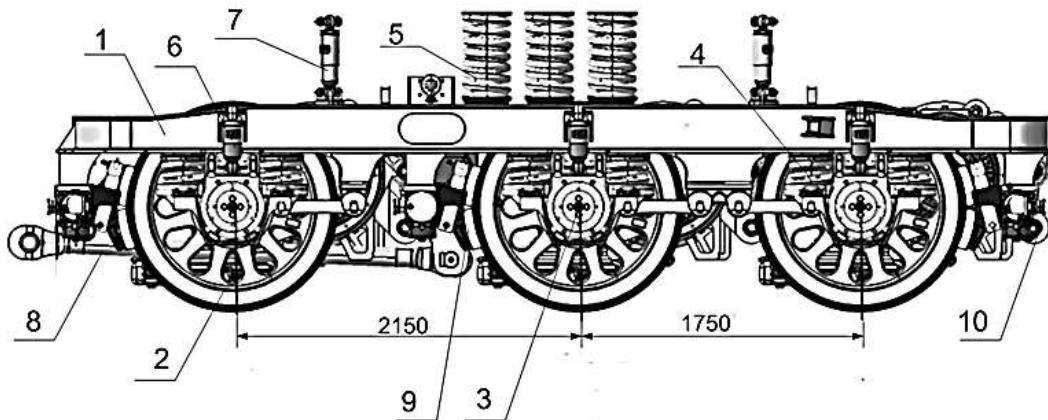


Рисунок 2 – Вариант тележки тепловоза 2ТЭ30а (проект):

1 – рама, 2 – колесная пара, 3 – букса, 4 – буксовая ступень рессорного подвешивания, 5 – центральная ступень рессорного подвешивания, 6 – гаситель буксовой ступени, 7 – гаситель центральной ступени, 8 – устройство передачи силы тяги, 9 – тормозная колодка, 10 – подвеска тягового электродвигателя

Предлагается в этом случае использовать сбалансированное буксовое рессорное подвешивание с сосредоточением основной доли прогиба в буксовой ступени, которое, в условиях небольшой расчетной скорости движения на руководящем подъеме при тепловозной тяге (около 30 км/ч) обеспечивает равномерное распределение нагрузок на оси (рис. 3).

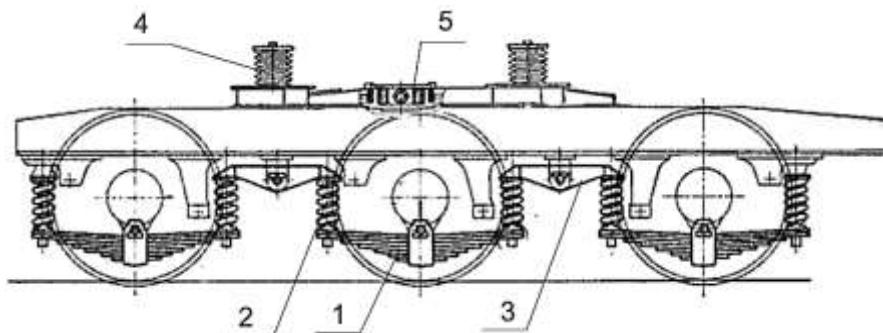


Рисунок 3 – Схема сбалансированного рессорного подвешивания:

1 – рессора, 2 – пружина, 3 – балансир, 4 – резинометаллическая опора, 5 – шкворневой узел

При этом нижнее расположение рессор позволяет снизить вес букс и обеспечить более равномерное распределение нагрузок на ролики буксовых подшипников, а четыре разнесенные опоры кузова на тележку снижают изгибающие моменты в боковине рамы тележки и ее массу по сравнению с вариантом расположения второй ступени подвешивания в середине тележки.

Еще более рациональным техническим решением для тепловоза Восточного полигона было бы использование двухосных тележек, унифицированных с тележками электровозов. Однако использование четырехосных секций привело бы к значительному увеличению длины тепловоза, а в трехтележечной шестиосной секции отсутствовало бы место для топливного бака. Поскольку тепловозы для Восточного полигона должны длительное время эксплуатироваться без захода в депо, рациональным вариантом в данном случае является использование бустерной четырехосной секции, содержащей основной запас топлива (в том числе и сжиженного природного газа в криостате) и двух трехтележечных шестиосных секций, содержащих небольшой запас топлива, достаточного для самостоятельного перемещения в расцепленном состоянии по путям локомотивного депо (рис. 4). Это также открывает возможности более глубокой унификации тепловозов и электровозов по кузову, ускоряет про-

цесс освоения тепловоза серийным производством и эксплуатацией, поскольку технология обслуживания и ремонта тележек уже отработана.

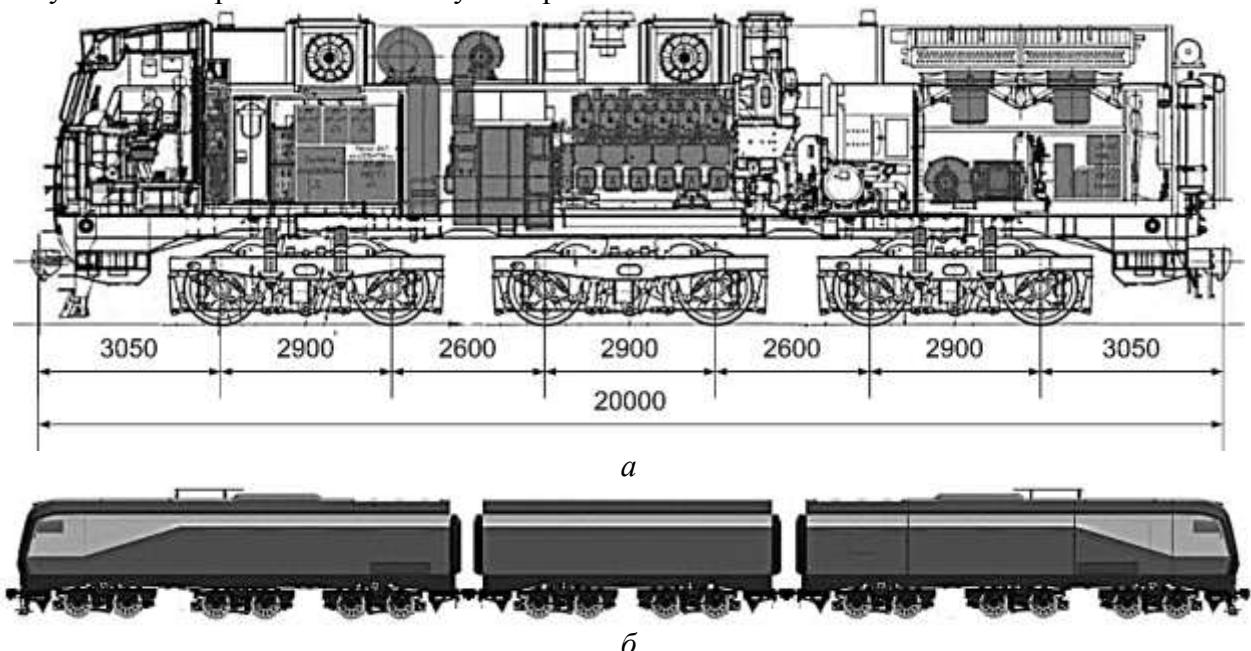


Рисунок 4 – Возможная компоновка тепловоза с бустерным танкерным модулем для Восточного полигона: а – моторной секции, б – тепловоза в целом

Предложенные выше решения касаются магистральных грузовых локомотивов, для которых при повышении тяговых свойств целесообразен переход на колеса диаметром 1250 мм. Вместе с тем, такой переход вряд ли имеет смысл для маневровых и промышленных тепловозов, где улучшение тяговых свойств в основном преследует цель снизить общую массу тепловоза при том же тяговом усилии, за счет чего уменьшить затраты энергии при разгоне тепловоза без состава, или с небольшим количеством вагонов при формировании состава.

К сожалению, при создании конструкции новых маневровых тепловозов также не используются все возможности для улучшения сцепных свойств. Как отмечалось в [18], на новом тепловозе ТЭМ23 применены двухосные тележки с несбалансированным рессорным подвешиванием (рис. 5).

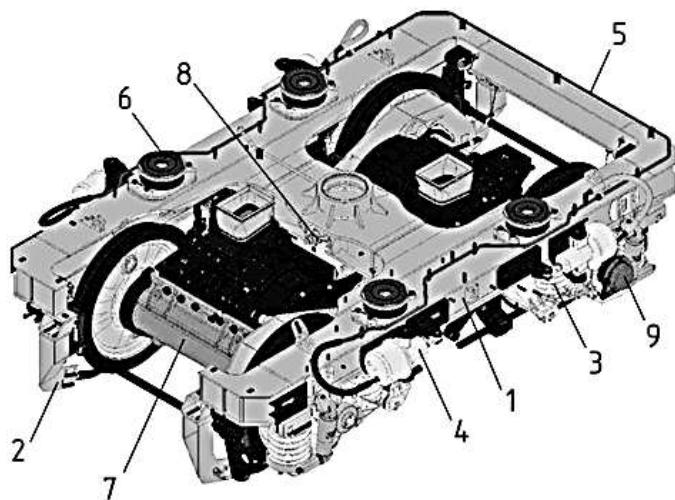


Рисунок 5 – Тележка тепловоза ТЭМ23: 1 – рама тележки, 2 – песочный трубопровод, 3 – рессорное подвешивание, 4 – рычажная передача тормоза, 5 – воздухопровод тележки, 6 – опоры скольжения, 7 – колесно-моторные блоки, 8 – подвеска ТЭД, 9 – датчик ДПС-У-01

Поэтому следует ожидать, что на подъездных путях сцепные свойства тепловоза могут оказаться ниже, чем при тяговых испытаниях на кольце ВНИИЖТ, из-за неравномерного распределения нагрузок по осям. В связи с этим авторы предлагают создать модификацию тепловоза ТЭМ23 с пневмоподвешиванием в буксовой ступени по образцу разработанного

предприятием «Лугансктепловоз» для трехосной тележки (рис. 6) и поставлять ее опционально по желанию заказчика.

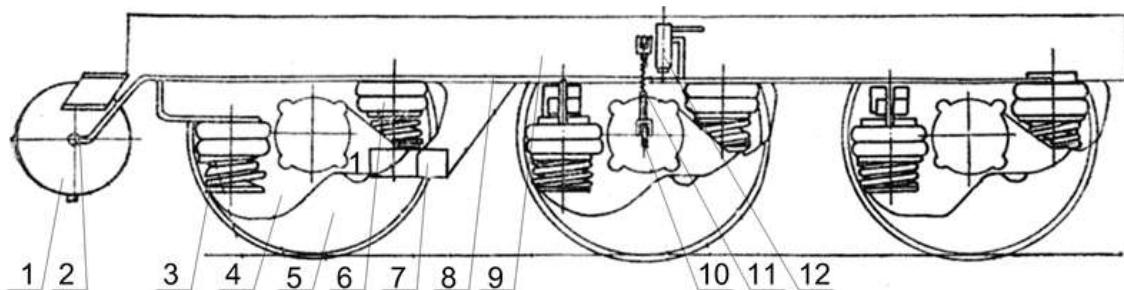


Рисунок 6 – Схема пневмопружинного подвешивания на бесчелюстной тележке 2ТЭ116: 1 – резервуар, 2 – дроссель, 3 – пружина, 4 – букса, 5 – колесная пара, 6 – пневмооболочка, 7 – поводок буксы, 8 – трудопровод, 9 – рама тележки, 10 – кронштейн, 11 – пружина, 12 – высоторегулирующий клапан

Опытное пневмоподвешивание содержит укороченный комплект буксовых пружин со статическим прогибом 41 мм и двухгофровую пневмооболочку Н-5, суммарный статический прогиб – 150 мм. За счет перетока воздуха можно реализовать сбалансированное четырехточечное или трехточечное подвешивание; демпфирование осуществляется благодаря дросселированию потока воздуха между оболочками и дополнительным резервуаром.

Другим недостатком тележки тепловоза ТЭМ23, который может повлиять на сцепные свойства, является применение опор сухого трения (рис. 7).

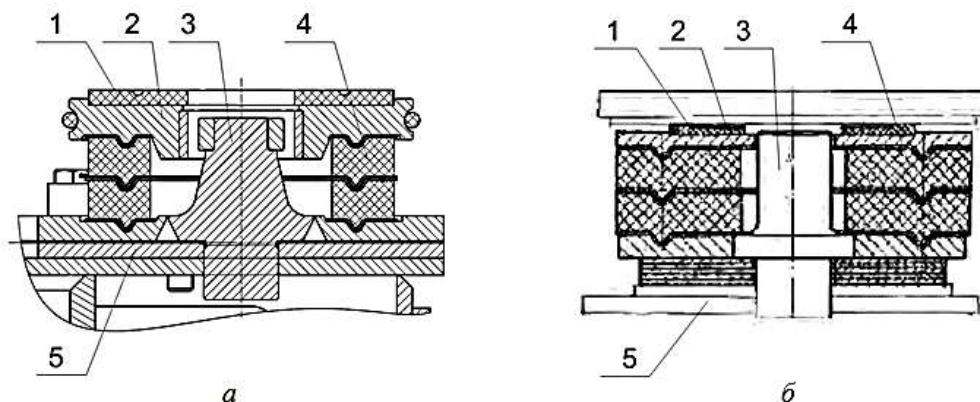


Рисунок 7 – Опоры кузова:  
а – тепловоза ТЭМ23, б – тепловоза ТЭМ103, 1 – скользун, 2 – тарелка, 3 – упор, 4 – амортизатор, 5 – опора

В данных опорах сухого трения использована пара «сталь по полимерному материалу», и отсутствует сферическая опора, обеспечивающая равномерность давления по поверхности контакта. Такие опоры подвергаются действию влаги, снега, пыли, в том числе металлической, что может приводить в эксплуатации к отличию тормозного момента от проектного и оказывать влияние на воздействие на путь в прямых и кривых, а также на коэффициент сцепления из-за увеличения угла набегания колеса на рельс.

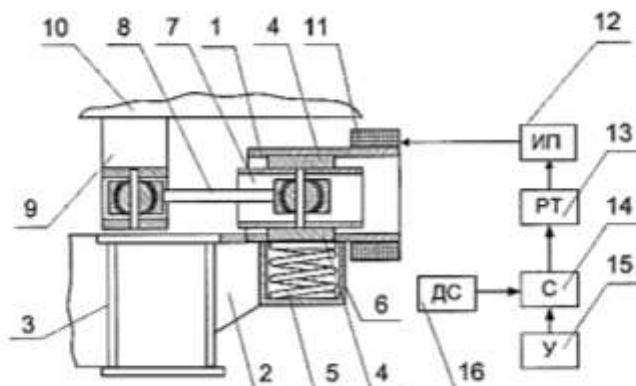


Рисунок 8 – Управляемый гаситель поперечных колебаний: 1 – корпус из диамагнитного материала, 2 – кронштейн, 3 – рама тележки, 4 – трения вкладыши, 5 – пружина, 6 – стакан, 7 – трения пластина, 8 – воздухопровод, 9 – клапан, 10 – крышка, 11 – пластина, 12 – воздухопровод, 13 – ИП, 14 – РТ, 15 – ДС, 16 – У, С

стакан, 8 – тяга, 9 – кронштейн, 10 – главная рама, 11 – обмотка электромагнита, 12 – источник питания, 13 – регулятор тока, 14 – сумматор, 15 – блок установки заданной скорости движения, 16 – датчик скорости движения

Для снижения поперечного скольжения колес по рельсу авторы предлагают использовать для двухосных тележек маневровых тепловозов роликовые или маятниковые опоры, а для обеспечения устойчивости движения в прямых участках пути использовать гасители поперечных колебаний. Авторами предложен фрикционный гаситель поперечных колебаний с управляемой характеристикой (рис. 8), который увеличивает силу сопротивления перемещению в зависимости от скорости движения тепловоза. Принцип действия данного гасителя основан на увеличении коэффициента трения под действием магнитного поля и на увеличении прижатия фрикционных вкладышей к фрикционному стакану за счет магнитного притяжения.

На данную конструкцию гасителя авторами получен патент на полезную модель [19].

#### **Выводы**

1. В результате проведенного анализа факторов, влияющих на сцепные свойства, выявлены неиспользованные резервы их повышения за счет совершенствования экипажной части локомотивов и изменения коэффициента сцепления за счет физических эффектов.

2. В качестве мер по совершенствованию экипажной части предложено для грузовых локомотивов с повышенными тяговыми свойствами использовать единый диаметр колес 1250 мм, сбалансированное рессорное подвешивание и двухосные тележки.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Измеров О.В., Кошелев А.В., Чвала А.Н. Проблема воспроизведимости результатов натурных экспериментальных исследований трибологических свойств системы «колесо-рельс» в условиях глобализации рынка рельсовых транспортных средств // Мир транспорта и технологических машин. Орел: Госуниверситет – УНПК, 2011. №3(34). С. 28-34.
2. Космодамианский А.С. [и др.] Концепция развития энергосберегающих электромеханических систем: монография / под ред. А.С. Космодамианского. Орел: Госуниверситет – УНПК, 2014. 244 с.
3. Фуфрянский Н.А., Нестрахов А.С., Долганов А.Н., Каменев Н.Н., Пахомов Э.А. Развитие локомотивной тяги / под ред. Н.А. Фуфрянского и А.И. Бевзенко. М.: Транспорт, 1982. 303 с.
4. Kraft K. Die Haftreibung // Elektrische Bahnen. 1968. Heft 6. S. 142-150. Heft 7. S. 161-170. Heft 8. S. 190 – 198. Heft 9. S. 214-219.
5. Голубенко А.Л. Сцепление колеса с рельсом: монография. Изд. 2-е, перераб. и доп. Луганск: Восточноукр. гос. ун-т, 1999. 476 с.
6. Лонгстон мл., Итами. Исследования явления трения-крипа для локомотива Итами Лонгстон мл. // Труды Амер. общ. инж.-мех.: Конструирование и технология машиностроения. 1980. №3. Т. 102. С. 241-248.
7. Крагельский И.В., Добрынин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. М., 1977. 526 с.
8. Каменев Н.Н. Эффективное использование песка для тяги поездов // Труды ЦНИИ МПС. 1968. Вып. 366.
9. Miller T.C. Adhesion. Convention on adhesion. London, 1963. Р. 1.
10. Barwell F.T. Surface contact in theory and practice. Proc. Inst. Mech. Eng., London. 1961. 175, 853.
11. Andrews H.I. The Adhesion of Electrical Locomotives // The Processing of the Institution of Electrical Engineers, 1955. Vol. 102. Р. 6.
12. Моделирование сцепления колеса с рельсом: монография / В.П. Тихомиров, В.И. Воробьев, Д.В. Воробьев, Г.В. Багров, М.И. Борзенков, И.А. Бутрин. Орел: ОрелГТУ, 2007. 127 с.
13. Лужнов Ю.М., Прунцев А.П. Влияние магнитного поля на механизм взаимодействия колес и рельсов // Тр. МИИТ. 1975. Вып. 480.
14. Делюсто Л.Г. Основы прокатки металлов в постоянных магнитных полях. М: Машиностроение, 2005. 272 с.
15. Космодамианский А.С., Воробьев В.И., Корчагин В.О. Увеличение сцепления колес локомотива с рельсами воздействием постоянных магнитных полей на зону контакта // Наука и техника транспорта. М.: Российская открытая академия транспорта. 2017. №2. С. 8-15.
16. Wang W.J., Zhang H.F., Liu Q.Y., Zhu M.H., Jin X.S. Investigation on adhesion characteristic of wheel/rail under the magnetic field condition. Proc IMechE Part J // J Engineering Tribology 0(0) 1–7 IMechE. 2015.
17. Воробьев В.И., Пугачев А.А., Измеров О.В., Николаев Е.В. Поиск рациональных технических решений тепловоза для Восточного полигона // Вестник Брянского государственного технического университета. 2021. №10(107). С. 53-63.
18. Космодамианский А.С., Воробьев В.И., Капустин М.Ю., Измеров О.В., Шевченко Д.Н. Проблемы создания перспективной двухосной тележки маневрового тепловоза // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2020. Т. 79. №3. С. 161-170.
19. Пат. 196110 РФ. Фрикционный гаситель горизонтальных колебаний тележки локомотива / Воробьев В.И., Злобин С.Н., Измеров О.В., Дорофеев О.В., Борзенков М.И., Новиков А.С., Новиков С.Н.; опубл. 17.02.2020, Бюл. № 5.

**Злобин Сергей Николаевич**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

**Николаев Евгений Владимирович**

Российский университет транспорта (МИИТ)  
Адрес: 127018, Россия, г. Москва, Октябрьский пер, д. 7

S.N. ZLOBIN, E.V. NIKOLAEV

## INCREASING THE TRACTION PROPERTIES OF LOCOMOTIVES

*Abstract. The issue of further increasing the traction properties of new freight and shunting locomotives is considered. Improvement of the undercarriage of locomotives has been identified as the main areas of work that can give a practical result. It has been proposed to use wheel diameters of 1250 mm, balanced spring suspension, and biaxial bogies for promising mainline locomotives; for shunting diesel locomotives with a wheel diameter of 1050 mm, measures have been proposed to improve support-return devices.*

**Keywords:** locomotive traction, wheel-rail adhesion, carriage part, clutch amplifiers, locomotive traction drive

## BIBLIOGRAPHY

1. Izmerov O.V., Koshelev A.V., CHvala A.N. Problema vosproizvodimosti rezul`tatov naturnykh eksperimental`nykh issledovaniy tribologicheskikh svoystv sistemy «koleso-rel`s» v usloviyakh globalizatsii rynka rel`s soyvykh transportnykh sredstv // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. Orel: Gosuniversitet - UNPK, 2011. №3(34). S. 28-34.
2. Kosmodamianskiy A.S. [i dr.] Kontsepsiya razvitiya energosberegayushchikh elektromekhanicheskikh sistem: monografiya / pod red. A.S. Kosmodamianskogo. Orel: Gosuniversitet - UNPK, 2014. 244 s.
3. Fufryanskiy N.A., Nestrakhov A.S., Dolganov A.N., Kamenev N.N., Pakhomov E.A. Razvitiye lokomotivnoy tyagi / pod red. N.A. Fufryanskogo i A.I. Bevzenko. M.: Transport, 1982. 303 s.
4. Kraft K. Die Haftreibung // Elektrische Bahnen. 1968. Heft 6. S. 142-150. Heft 7. S. 161-170. Heft 8. S. 190 - 198. Heft 9. S. 214-219.
5. Golubenko A.L. Stseplenie kolesa s rel`som: monografiya. Izd. 2-e, pererab. i dop. Lugansk: Vostochnoukr. gos. un-t, 1999. 476 s.
6. Longston ml., Itami. Issledovaniya yavleniya treniya-kripa dlya lokomotiva Itami Longston ml. // Trudy Amer. obshch. inzh.-mekh.: Konstruirovaniye i tekhnologiya mashinostroeniya. 1980. №3. T. 102. S. 241-248.
7. Kragel'skiy I.V., Dobrynin M.N., Kombalov V.S. Osnovy raschetov na trenie i iznos. M., 1977. 526 s.
8. Kamenev N.N. Effektivnoe ispol`zovaniye peska dlya tyagi poezdov // Trudy TSNII MPS. 1968. Vyp. 366.
9. Miller T.C. Adhesion. Conrention on adhesion. London, 1963. P. 1.
10. Barwell F.T. Surface contact in theory and practice. Proc. Inst. Mech. Eng., London. 1961. 175, 853.
11. Andrews H.I. The Adhesion of Electrical Locomotives // The Processing of the Institution of Electrical Engineers, 1955. Vol. 102. P. 6.
12. Modelirovaniye stsepleniya kolesa s rel`som: monografiya / V.P. Tikhomirov, V.I. Vorob`ev, D.V. Vorob`ev, G.V. Bagrov, M.I. Borzenkov, I.A. Butrin. Orel: OrelGTU, 2007. 127 s.
13. Luzhnov YU.M., Pruntsev A.P. Vliyanie magnitnogo polya na mekhanizm vzaimodeystviya koles i rel`ssov // Tr. MIIT. 1975. Vyp. 480.
14. Delyusto L.G. Osnovy prokatki metallov v postoyannykh magnitnykh polyakh. M: Mashinostroenie, 2005. 272 s.
15. Kosmodamianskiy A.S., Vorob`ev V.I., Korchagin V.O. Uvelichenie stsepleniya koles lokomotiva s rel`sami vozdeystviem postoyannykh magnitnykh poley na zonu kontakta // Nauka i tekhnika transporta. M.: Rossiskaya otkrytaya akademiya transporta. 2017. №2. S. 8-15.
16. Wang W.J., Zhang H.F., Liu Q.Y., Zhu M.H., Jin X.S. Investigation on adhesion characteristic of wheel/rail under the magnetic field condition. Proc IMechE Part J // J Engineering Tribology 0(0) 1-7 IMechE. 2015.
17. Vorob`ev V.I., Pugachev A.A., Izmerov O.V., Nikolaev E.V. Poisk ratsional`nykh tekhnicheskikh resheniy teplovoza dlya Vostochnogo poligona // Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2021. №10(107). S. 53-63.
18. Kosmodamianskiy A.S., Vorob`ev V.I., Kapustin M.YU., Izmerov O.V., Shevchenko D.N. Problemy sozdaniya perspektivnoy dvukhosoyn telezhki manevrovogo teplovoza // Vestnik nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnnogo transporta. 2020. T. 79. №3. S. 161-170.
19. Pat. 196110 RF. Friktsionnyy gasitel' gorizonta`nykh kolebaniy telezhki lokomotiva / Vorob`ev V.I., Zlobin S.N., Izmerov O.V., Dorofeev O.V., Borzenkov M.I., Novikov A.S., Novikov S.N.; opubl. 17.02.2020, Byul. №5.

**Zlobin Sergey Nikolaevich**

Orel State university  
Address: 302030, Russia, Orel, st. Moskovskaya, 77  
Candidate of technical sciences,  
E-mail: zsn2@rambler.ru

**Nikolaev Evgeny Vladimirovich**

Russian University of Transport (MIIT)  
Address: 127018, Russia, Moscow, Oktyabrsky lane, 7  
Associate Professor of the Traction Rolling Stock Department  
E-mail: vladimvorobiev@yandex.ru

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья

УДК 656.01

doi:10.33979/2073-7432-2024-4-3(87)-89-95

И.С. МИТРЯЕВ

### АСПЕКТЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

**Аннотация.** Статья посвящена исследованию эффективности интеллектуальных транспортных систем (ИТС) в условиях современных городов. Рассматривается роль ИТС в решении проблем городской мобильности, экологической нагрузки и социальной справедливости. Особое внимание уделено комплексному подходу к оценке и внедрению данных систем, которые способствуют оптимизации транспортных потоков, сокращению использования личного автотранспорта и снижению выбросов вредных веществ. В статье анализируются социальные последствия ИТС, включая влияние на транспортную доступность, безопасность и качество жизни. Также обсуждаются перспективы развития ИТС в рамках интеграции современных технологий с учётом потребностей населения.

**Ключевые слова:** интеллектуальные транспортные системы, городская мобильность, социальное воздействие, транспортная инфраструктура, улучшение качества жизни, безопасность, оптимизация транспортных потоков

#### **Введение**

Транспортная инфраструктура является одной из ключевых составляющих городского пространства, особенно в условиях растущей плотности населения. Примерно треть территории крупных городов занимают автострады и парковочные зоны, что усугубляет проблемы городской среды, усиливаемые быстрым ростом урбанизации. Увеличение объёмов уличной сети приводит к негативным последствиям для окружающей среды и здоровья людей, подчёркивая необходимость разработки рациональных мер в этой области.

Для точной оценки эффективности ИТС необходимо собрать и проанализировать многоаспектные данные в соответствии с поставленными целями. Важно учитывать устойчивость, способность к адаптации, экономическую эффективность и надёжность системы. Необходимо также отслеживать финансовые показатели, чтобы сохранить баланс между эффективностью и бюджетными ограничениями. Кроме того, важно оценить социальное воздействие транспортных сетей на общество и каждого гражданина в отдельности.

В исследовании рассмотрены как положительные, так и отрицательные последствия внедрения ИТС. Например, улучшение мобильности населения и снижение воздействия на окружающую среду за счёт развития общественного транспорта. Грамотно спроектированная система общественного транспорта снижает зависимость от личных автомобилей, что способствует социальной интеграции и устойчивому развитию городов [1-2].

#### **Материал и методы**

Комплексная оценка социального воздействия ИТС помогает принимать оптимальные решения, направленные как на сохранение окружающей среды, так и на обеспечение социальной справедливости. Развитая транспортная инфраструктура положительно сказывается на качестве жизни, способствует физической активности населения, снижает выбросы вредных веществ и повышает доступность медицинской помощи. Современные транспортные системы играют важную роль в координации общественной жизни и обеспечении устойчивости инфраструктуры.

Исследование таких систем требует определения масштабов, целей и перспектив их развития, а также сбора фактических данных с помощью опросов, мониторинговых устройств и статистических систем. Одним из ключевых методов анализа является экономи-

ческая оценка инфраструктуры, основанная на сравнении текущей производительности с эталонными показателями. Влияние на общество проявляется не только в материальных, но и в нематериальных аспектах, таких как социальная сплочённость, безопасность и национальная идентичность [3-7].

Существует ряд методов для оценки социального воздействия. Один из них — Оценка социального воздействия (Social impact assessment, SIA), которая позволяет выявить и проанализировать социальные проблемы, связанные с реализацией инфраструктурных проектов. Этот метод широко используется в государственном управлении и бизнесе для прогнозирования и минимизации негативных последствий для общества. В рамках SIA важно выявить группы заинтересованных сторон и потенциально затронутых лиц, а также разработать стратегии для снижения негативного воздействия. Такой систематический подход позволяет минимизировать социальные риски и максимизировать положительное влияние технологий и политик. Социальное конструирование технологий (Social construction of technology - SCOT) представляет собой теоретическую концепцию, оспаривающую принцип технологического детерминизма, как подхода, определяющего технологию в качестве основополагающего фактора в процессах социальных изменений. В соответствии с этой концепцией, технологии формируются не поведением людей, а социальными и культурными условиями. Социальные конструктивисты подчеркивают важность анализа социального контекста, в котором развиваются и эксплуатируются технологии. Это включает в себя способы взаимодействия людей с новыми технологиями, их адаптацию, а также исторические и культурные аспекты, влияющие на их принятие и использование. Видными сторонниками концепции SCOT являются Vibe Bijker и Trevor Pinch, которые подчеркивают важность учета социальной среды для понимания аспектов принятия технологии и утверждают, что успех технологического решения обусловлен не столько свойственными ему характеристиками, сколько необходимостью порядка установления критериев, определяющих его «превосходство».

Метод оценки стоимости в широком смысле, учитывающий социальные, экологические и финансовые аспекты, известен как социальный возврат на инвестиции (Social return on investment, SROI). Эта методология позволяет исследовать изменения в стоимости, необходимые заинтересованным сторонам, для которых создается проект. SROI использует рублевый эквивалент для оценки стоимости и может применяться органами власти, коммерческими организациями и иными общественными объединениями. Методы сбора данных и их оценка достаточно гибкие и не ограничиваются получением одного числа, а рассматриваются как основа для изучения социального воздействия. Результаты анализа методом SROI могут использоваться для выявления связи между социальной ценностью модификации инфраструктуры и инвестициями, необходимыми для ее создания.

Многокритериальная оценка (Multi-Criteria Analysis, MCA) учитывает ряд факторов, включая доступность, справедливость, воздействие на окружающую среду, здоровье населения и другие. Этот подход обеспечивает комплексное представление о социальном воздействии проекта, учитывая вес каждого критерия и сравнивая предлагаемые инициативы по степени их полезности.

Геоинформационные системы (ГИС) могут быть использованы в качестве инструмента анализа социальной справедливости для составления карты инфраструктуры и анализа ее доступности для конкретных социальных групп и организаций. ГИС также можно использовать для оценки потенциального влияния инициатив по организации перевозок с целью повышения качества жизни, снижения уровня шумового загрязнения и улучшения экологических показателей.

Результаты измерения социального воздействия могут быть невероятно полезны поскольку позволяют принимать взвешенные и научно обоснованные решения, улучшающие социальные аспекты функционирования транспортной системы в целом. В частности, результаты исследования позволяют определить достоинства и недостатки той или иной технологии ИТС, обозначить приоритетные области, подлежащие совершенствованию. Кроме того, полученные сведения находят применение при сравнительном анализе и определении

наилучшего из альтернативных вариантов сценария развития транспортной инфраструктуры. Результаты могут использоваться для мониторинга и оценки прогресса функционирования ИТС, а также для корректировки управленческих решений с учетом существующих потребностей. Наконец, результаты могут использоваться для коммуникации и вовлечения участников дорожного движения, наглядно демонстрируя достоинства и результативность функционирования ИТС.

Для исследователя очень важно, чтобы измерения социального воздействия были географически привязаны, что позволит целенаправленно воздействовать на приоритетные направления политики, актуальной для географического положения и социально-экономической ситуации. В отсутствие географической информации меры могут лишь косвенно компенсировать или смягчать проблемы, но не решать их.

Результаты измерения социального воздействия позволяют органам власти принимать обоснованные решения. Они выявляют сильные и слабые стороны, определяют приоритетные направления модернизации, сравнивают варианты развития транспортной инфраструктуры, отслеживают прогресс и корректируют планы. Они также используются для общения с участниками дорожного движения и заинтересованными сторонами, позволяя продемонстрировать ценность технологий ИТС [8-10].

### **Теория / Расчет**

Большинство людей по-прежнему думают о мобильности как о собственном транспортном средстве. 53 863 743 легковых автомобилей и мотоциклов представляют собой моторизованный частный транспорт в России (369 единиц на 1000 человек) по состоянию на 1 января 2024 года. Но на самом деле автомобиль проводит в движении около десяти процентов своего срока службы. Транспортное средство не представляет никакой дополнительной ценности, кроме постоянной доступности, личной свободы перемещений и независимости владельцев, в то же время оно несет эксплуатационные расходы. Тем не менее, отказаться от личного транспорта возможно только при наличии приемлемых альтернатив. Это особенно актуально для жителей окрестностей, большинство из которых и в перспективе останутся зависимыми от личного транспорта. Поэтому для городских агломераций важен переход к концепциям интеллектуальной мобильности, подразумевающим максимально эффективное использование времени, необходимого гражданам для перемещения из пункта А в пункт Б. Для достижения этой цели необходимо объединение в сеть всех возможных и фактически доступных видов транспорта, а также маршрутов движения, светофоров, дорожных знаков и парковочных мест. Например, к чемпионату мира по футболу Катар внедрил мультимодальную систему ИТС, которая управляет светофорами за пределами станции метро для безопасного и эффективного перемещения пешеходов [11-13].

Однако проблемой является ограниченность парковочных мест и перегруженность городских дорог, что делает альтернативный транспорт экономически привлекательным. В связи с этим в крупных городах существует тенденция отказа от владения собственным транспортом, даже там, где услуги индивидуальной мобильности еще не полностью интегрированы. Впрочем, если отвлечься от крупных городов, недостатки услуг мобильности могут быть весьма очевидны. Доступ к общественному транспорту не всегда удобен или имеет прерывистое расписание. Совместное использование автомобилей также действительно эффективно только в районах со значительной плотностью населения; в остальных местах может быть недостаточно пользователей, чтобы оправдать услугу, или парк автомобилей может быть сильно рассредоточен.

Ключевой тенденцией развития интеллектуальной мобильности выступает переход к большей персонализации услуг, а также заблаговременное прогнозирование для обеспечения наилучших транспортных потребностей и предпочтений граждан.

Влияние ИТС на региональное развитие проявляется через прямые, косвенные и индуцированные эффекты. Прямые эффекты обусловлены инвестициями в разработку и внедрение ИТС, что способствует экономической активности за счёт приобретения оборудования, интеграции программного обеспечения и предоставления связанных услуг. Обучение

персонала для работы с ИТС расширяет возможности регионального рынка труда. Прямые вложения в транспортную инфраструктуру повышают её эффективность, что, в свою очередь, снижает издержки как для потребителей, так и для предприятий.

Внедрение ИТС вызывает первичные изменения, которые влияют на смежные сектора экономики, инициируя вторичные последствия. Снижение издержек для предприятий и частных лиц ведет к увеличению располагаемых ресурсов, что, в свою очередь, способствует росту потребительского спроса в различных отраслях. Это создает потребность в дополнительных услугах, таких как консалтинг, анализ данных и разработка программного обеспечения, открывая новые перспективы для высокотехнологичного развития региональных компаний. Проявление этих эффектов заметно в изменении потребительского поведения, динамике рынка и перераспределении ресурсов.

Индуцированные эффекты интеллектуальных транспортных систем включают дополнительные изменения в экономической активности и поведении потребителей, вызванные как прямыми, так и косвенными влияниями. Эти изменения зачастую сопровождаются эффектами обратной связи и мультиплекативным воздействием, которые усиливают начальные эффекты ИТС. Внедрение ИТС может способствовать увеличению инвестиций в инфраструктуру, технологическое развитие и кадровый потенциал, что, в свою очередь, повышает рентабельность и конкурентоспособность бизнеса. Улучшение транспортной доступности и надежности может стимулировать экономический рост в регионах, создавая новые возможности для малого бизнеса и сельского хозяйства. Это привлекает дополнительные инвестиции и способствует перемещению предприятий из других регионов, что стимулирует развитие экономических центров и создает новые рабочие места. Таким образом, рыночные возможности расширяются, а экономическая трансформация региона ускоряется. Надежность и адаптивность ИТС могут повысить производительность и конкурентоспособность бизнеса, оказывая положительное влияние на национальную экономику.

В ходе исследования выделены три группы аспектов эффективности интеллектуальных транспортных систем по характеру воздействия: экономика, социальное развитие и жизнедеятельность (табл. 1).

### *Результаты и обсуждения*

Интеллектуальные системы оказывают комплексное влияние на региональное развитие. Помимо прямых выгод от технологических достижений и инвестиций в инфраструктуру, такие системы способны стимулировать экономическую активность, повышать производительность и способствовать внедрению инноваций, что в итоге способствует долгосрочному социально-экономическому развитию и повышению конкурентоспособности.

Развитие общества связано с улучшением благосостояния через создание соответствующих социальных, политических и экономических условий. Это выражается в количественных и качественных изменениях в человеческом капитале, включая рост доходов и уровня образования, а также в улучшении физического капитала, такого как инфраструктура, включающая коммунальные услуги, транспорт и телекоммуникации.

Транспортное планирование играет ключевую роль в бизнес-операциях, так как связано с множеством факторов: маршруты, графики, транспортные средства, водители, топливо, погодные условия и дорожное движение. Предварительное планирование помогает предвидеть возможные проблемы, эффективно распределять ресурсы и избегать задержек и сбоев.

Использование таких инструментов, как системы управления транспортом и программного обеспечения для оптимизации маршрутов, позволяет планировать транспортные операции и отслеживать их в режиме реального времени. Однако только с помощью интеллектуальных транспортных систем возможно уменьшение рисков, связанных с жёстким планированием, и обеспечение гибкости реагирования на инциденты, такие как неблагоприятные погодные условия или внезапный ремонт инфраструктуры. Используя эту информацию, можно разработать реалистичные сценарии и определить потребность в дополнительных ресурсах и затратах для поддержания непрерывной деятельности предприятия. Искусство гибкого реагирования на вызовы сложно, так как существует риск перераспределения ресурсов,

что может повлиять на интересы организации.

Таблица 1 – Социальные аспекты эффективности интеллектуальных транспортных систем

	Прямое воздействие	Косвенное воздействие	Индуцированное воздействие
Микроэкономика	улучшение логистики и транспортной инфраструктуры значительно повышает эффективность производства и снижает издержки транспортировки товаров. (особенно важно для отраслей, зависимых от своевременной доставки сырья и готовой продукции)	развитие ИТС способствует росту производительности и конкурентоспособности предприятий, что приводит к увеличению объема производства и прибыли	повышение эффективности транспортной системы стимулирует создание новых предприятий и развитие смежных отраслей, таких как технологии ИБ и программного обеспечения для ИТ-систем
Макроэкономика	ИТС оказывают существенное воздействие на национальную экономику, улучшая доступность рынков и снижая транспортные затраты. Это способствует росту ВВП и увеличению торговли как на внутреннем, так и на международном уровне	улучшение транспортной инфраструктуры стимулирует экономический рост через увеличение инвестиций в смежные отрасли, такие как строительство и производство транспортного оборудования	развитие ИТС приводит к улучшению качества жизни, что способствует повышению уровня потребления и расходов в экономике
Социальное развитие	внедрение ИТС сопровождается неосязаемыми изменениями, такими как снижение экологического воздействия транспорта и повышение безопасности дорожного движения, что способствует улучшению качества жизни общества	развитие ИТС обеспечивает общественную доступность к транспорту и улучшает мобильность населения, что способствует уменьшению социальных неравенств	увеличение доступности транспорта и снижение времени в пути повышают уровень комфорта и удовлетворенности жизнью, что влияет на общественное благополучие и развитие, рост населения
Жизнедеятельность граждан	ИТС облегчают доступ к транспорту и уменьшают затраты времени и ресурсов на перемещение, что положительно влияет на финансовую нагрузку на домашнее хозяйство	развитие транспортной инфраструктуры способствует созданию новых рабочих мест и расширению возможностей для предпринимательства, что улучшает финансовое положение граждан	увеличение мобильности и доступности транспорта улучшает доступ к образованию, работе и развлечениям, что способствует повышению качества жизни и благосостояния граждан

### **Выходы**

В заключение, следует отметить, что любая технология – лишь средство достижения цели, а не самоцель. Таким образом, чтобы ориентироваться в инструментах ИТС, необходимо определить наилучшие решения в зависимости от поставленных целей. Результатом целеполагания реализации мероприятий по внедрению ИТС, ориентированных на развитие общества, является повышение доступности, безопасности, экологичности, эксплуатационной эффективности и ориентированности на потребителей. Уделяя приоритетное внимание этим аспектам, инициативы ИТС направлены на создание инклюзивных, справедливых и устойчивых транспортных решений, отвечающих разнообразным потребностям общества. Благодаря интеграции передовых технологий, подходов, основанных на данных, и совместному сотрудничеству, процесс постановки целей направлен на решение сложных транспортных проблем и содействие общему благосостоянию и повышению уровня жизни общества [14-17]. В любом случае, это связано с огромными инвестиционными затратами, масштабными процессами и культурными изменениями, но такова цена цифровой трансформации для адаптации к меняющимся рынкам и потребностям клиентов, оптимизации качества обслуживания, повышения надежности и безопасности участников дорожного движения.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Бодров А.С., Кулев М.В., Девятина Д.Ш., Лобынцева О.А. Оценка готовности Орловской городской агломерации к внедрению интеллектуальных транспортных систем // Мир транспорта и технологических машин. 2020. №3(70). С. 64-72. EDN: UDEAHN.

2. Жанказиев С.В. Интеллектуальные транспортные системы. Пути развития // Информационные технологии и инновации на транспорте: материалы 2-ой Международной научно-практической конференции. Орел: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, 2016. С. 3-9. EDN WDLTVX.
3. Кулев М.В., Кулева Н.С., Кулев А.В., Горенкова С.Е. Разработка методики получения информации об эффективности транспортного обслуживания населения // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы 5-ой Международной научно-практической конференции. Орёл: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева. 2020. С. 80-87. EDN YLEKYF.
4. Новиков А.Н., Еремин С.В., Ломакин Д.О. Оценка уровня безопасности дорожного движения на региональном уровне // Мир транспорта и технологических машин. 2020. №3(70). С. 72-79. DOI 10.33979/2073-7432-2020-70-3-72-79. EDN LLYSUA.
5. Зейналов Ф.Н. Об основных положениях национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» // Научный вестник Орловского юридического института МВД России имени В.В. Лукьянова. 2020. №2(83). С. 168-173. EDN STINYK.
6. Новиков А.Н., Новиков И. А., Шевцова А. Г. Современная оценка проблемы безопасности дорожного движения. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. 108 с. EDN VACGFY.
7. Матросова Л.Д. Совершенствование методов получения и обработки информации для поддержки принятия управленческих решений в деятельности правоохранительных органов // Научный вестник Орловского юридического института МВД России имени В.В. Лукьянова. 2018. №4(77). С. 152-154. EDN YPOGEP.
8. Новиков А.Н., Катунин А.А., Семкин А.Н., Васильева В.В. Интеллектуальная система управления грузовыми перевозками // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. №5-3(16-3). С. 151-159. DOI 10.12737/14699. EDN VDPYFV.
9. Жанказиев С.В., Короткова Ю.А. Сервисная полоса ИТС // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2023. №2(36). EDN JXBGXZ.
10. 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. EDN LJEINH.
11. Кулев А.В., Минаева Е.М. Проблемы повышения качества в сфере перевозок пассажиров // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №3-2(82). С. 100-105. DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-2(82)-100-105. EDN LAOBHN.
12. Семкин А.Н., Шевляков А.Н. Опыт внедрения систем координации движения общественного транспорта на примере Орловской городской агломерации // Мир транспорта и технологических машин. 2023. № 1-1(80). С. 50-59. DOI 10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-50-59. EDN NKTNOB.
13. Новиков А.Н., Мирошников Е.В., Кулев А.В., Кулев М.В. Повышение безопасности дорожного движения на основе интеллектуальных транспортных систем // Мир транспорта и технологических машин. 2022. №4-1(79). С. 86-93. DOI 10.33979/2073-7432-2022-1(79)-4-86-93. EDN FGGLHV.
14. Жбанова С.А. Поиск и внедрение инновационных решений в сфере дорожной безопасности // Научный вестник Орловского юридического института МВД России имени В.В. Лукьянова. 2020. №4(85). С. 116-120. EDN IZFONX.
15. Матросова Л.Д. О совершенствовании информационного обеспечения подразделений ГИБДД по вопросам оперативного сбора сведений о дорожно-транспортных происшествиях // Научный вестник Орловского юридического института МВД России имени В.В. Лукьянова. 2019. №2(79). С. 143-146. EDN KQOXBV.
16. Семенов Е.Ю., Кобзина П.В. Возможности использования открытых данных в деятельности ГИБДД // Научный вестник Орловского юридического института МВД России имени В.В. Лукьянова. 2018. №1(74). С. 125-127. EDN YSLHQQ.
17. Кондрашова Е.А., Фатянов С.О., Морозов А.С. Перспективные решения по повышению интенсивности дорожного движения // Прогрессивные технологии и процессы: Сборник научных статей 9-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Курск: Юго-Западный государственный университет. 2022. С. 98-101.

**Митряев Иван Сергеевич**

ОрЮИ МВД России имени В.В. Лукьянова

Адрес: 302027, Россия, г. Орёл, ул. Игнатьева, д. 2

старший преподаватель кафедры ИТ в Д ОВД

E-mail: ismitryaev@gmail.com

---

I.S. MITRYAEV

## ASPECTS OF THE EFFICIENCY OF INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS

**Abstract:** This paper examines the effectiveness of intelligent transportation systems (ITS) in modern urban environments. The authors examine the role of ITS in addressing challenges related to urban mobility, environmental impact, and social equity. The paper emphasizes the importance of a comprehensive approach to assessing and implementing ITS, as these systems optimize traffic flows, reduce private car use, and lower emissions. The social impact of ITS is highlighted, particularly in terms of improving transport accessibility, safety, and overall quality of life for urban residents. The authors also discuss the future development of ITS, considering the integration of advanced technologies and the growing needs of the population.

**Keywords:** Intelligent transportation systems, urban mobility, environmental sustainability, social impact, transport infrastructure, quality of life improvement, safety, traffic flow optimization

## **BIBLIOGRAPHY**

1. Bodrov A.S., Kulev M.V., Devyatina D.SH., Lobyntseva O.A. Otsenka gotovnosti Orlovskoy gorodskoy aglomeratsii k vnedreniyu intellektual'nykh transportnykh sistem // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2020. №3(70). S. 64-72. EDN: UDEAHN.
2. Zhankaziev S.V. Intellektual'nye transportnye sistemy. Puti razvitiya // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: materialy 2-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Orel: Orlovskiy gosudarstvenny universitet im. I.S. Turgeneva, 2016. S. 3-9. EDN WDLTVX.
3. Kulev M.V., Kuleva N.S., Kulev A.V., Gorenkova S.E. Razrabotka metodiki polucheniya informatsii ob effektivnosti transportnogo obsluzhivaniya naseleniya // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: Materialy 5-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Oriol: Orlovskiy gosudarstvenny universitet im. I.S. Turgeneva. 2020. S. 80-87. EDN YLEKYF.
4. Novikov A.N., Eremin S.V., Lomakin D.O. Otsenka urovnya bezopasnosti dorozhno dvizheniya na regional'nom urovne // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2020. №3(70). S. 72-79. DOI 10.33979/2073-7432-2020-70-3-72-79. EDN LLYSUA.
5. Zeynalov F.N. Ob osnovnykh polozheniyakh 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. 168-173. EDN STINYK.
6. Novikov A.N., Novikov I. A., Shevtsova A. G. Sovremennaya otsenka problemy bezopasnosti dorozh-nogo dvizheniya. Belgorod: Belgorodskiy gosudarstvenny tekhnologicheskiy universitet im. V.G. Shukhova, 2021. 108 s. EDN VACGFY.
7. Matrosova L.D. Sovershenstvovanie metodov polucheniya i obrabotki informatsii dlya podderzhki prinyatiya upravlencheskikh resheniy v deyatel'nosti pravookhranitel'nykh organov // Nauchnyy vestnik Orlovskogo yuridicheskogo instituta MVD Rossii imeni V.V. Luk'yanova. 2018. №4(77). S. 152-154. EDN YPOGEP.
8. Novikov A.N., Katunin A.A., Semkin A.N., Vasil'eva V.V. Intellektual'naya sistema upravleniya gruzovymi perevozками // Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. 2015. T. 3. №5-3(16-3). S. 151-159. DOI 10.12737/14699. EDN VDPYFV.
9. Zhankaziev S.V., Korotkova YU.A. Servisnaya polosa ITS // Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura. 2023. №2(36). EDN JXBGXZ.
10. 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. EDN LJEINH.
11. Kulev A.V., Minaeva E.M. Problemy povysheniya kachestva v sfere perevozok passazhirov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №3-2(82). S. 100-105. DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-2(82)-100-105. EDN LAOBHN.
12. Semkin A.N., Shevlyakov A.N. Optymizatsiya vnedreniya sistem koordinatsii dvizheniya obshchestvennogo transporta na primere Orlovskoy gorodskoy aglomeratsii // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. № 1-1(80). S. 50-59. DOI 10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-50-59. EDN NKTTHOB.
13. Novikov A.N., Miroshnikov E.V., Kulev A.V., Kulev M.V. Povyshenie bezopasnosti dorozhno dvizheniya na osnove intellektual'nykh transportnykh sistem // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2022. №4-1(79). S. 86-93. DOI 10.33979/2073-7432-2022-1(79)-4-86-93. EDN FGGLHV.
14. ZHbanova S.A. Poisk i vnedrenie innovatsionnykh resheniy v sfere dorozhno bezopasnosti // Nauchnyy vestnik Orlovskogo yuridicheskogo instituta MVD Rossii imeni V.V. Luk'yanova. 2020. №4(85). S. 116-120. EDN IZFONX.
15. Matrosova L.D. O sovershenstvovanii informatsionnogo obespecheniya podrazdeleniy GIBDD po voprosam operativnogo sabora svedeniy o dorozhno-transportnykh proisshestviyakh // Nauchnyy vestnik Orlovskogo yuridicheskogo instituta MVD Rossii imeni V.V. Luk'yanova. 2019. №2(79). S. 143-146. EDN KQOXBV.
16. Semenov E.YU., Kobzina P.V. Vozmozhnosti ispol'zovaniya otkrytykh dannykh v deyatel'nosti GIBDD // Nauchnyy vestnik Orlovskogo yuridicheskogo instituta MVD Rossii imeni V.V. Luk'yanova. 2018. №1(74). S. 125-127. EDN YSLHQQ.
17. Kondrashova E.A., Fat'yanov S.O., Morozov A.S. Perspektivnye resheniya po povysheniyu intensivnosti dorozhno dvizheniya // Progressivnye tekhnologii i protsessy: Sbornik nauchnykh statey 9-y Vserossiyskoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii s mezdunarodnym uchastiem. Kursk: YUgo-Zapadnyy gosudarstvenny universitet. 2022. S. 98-101.

**Mitryaev Ivan Sergeevich**

Orel Law Institute of the Ministry of the Interior of the Russian Federation

Address: 302027, Russia, Orel, Ignatova St., d. 2

Senior Lecturer

Email: ismitryaev@gmail.com

Научная статья  
УДК 656.078  
doi:10.33979/2073-7432-2024-4-3(87)-96-103

О.В. МАЛИХИНА

## НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ТРАНСПОРТНЫМИ СИСТЕМАМИ

*Аннотация. В современном мире, который развивается на фоне промышленных революций, транспортные сети приобретают особую важность. Их роль в экономическом росте и социальном взаимодействии неоценима. С течением времени эти системы превращаются в сложные многоуровневые конструкции, варьирующиеся от личного автотранспорта до обширных воздушных маршрутов. Чтобы гарантировать их работоспособность, безопасность и надёжность, требуется не только глубокое понимание, но и использование развитых научных подходов. Так, для рассмотрения данной темы одним из подходов является понятие открытой системы, предложенное Л. фон Берталанфи, изучение которого необходимо для усовершенствования системных методологий и улучшения их эффективности при анализе сложных задач, актуальных в современном мире. В работе рассматриваются ключевые идеи концепции открытых систем, анализируется важность этих компонентов для прогресса системы, а также изучаются вопросы, связанные с поддержанием устойчивого развития в рамках открытых систем.*

**Ключевые слова:** инновации, инновационные технологии, организмический подход, открытая система, промышленное предприятие, теория систем, технологии, транспортные системы

### **Введение**

В современном мире транспортные системы, являясь частью открытых систем играют ключевую роль в экономике и социальной жизни общества. Они становятся всё более сложными и многоуровневыми, включая в себя различные виды транспорта: от автомобилей до авиалиний. Управление такими системами требует глубоких знаний и применения научных методов, чтобы обеспечить их эффективность, безопасность и устойчивость.

Научные основы управления транспортными системами затрагивают широкий спектр дисциплин, включая математическое моделирование, системный анализ, информационные технологии и кибернетику. Исследователи и инженеры постоянно работают над разработкой новых теоретических моделей и практических инструментов для управления потоками, оптимизации маршрутов и повышения безопасности передвижения. В данной статье рассмотрены ключевые научные идеи, концепции об открытой системе, характеризуется роль её отдельных элементов и инжиниринга в её развитии, для дальнейшего развития методов, инноваций, лежащих в основе управления сложными транспортными системами, и более детального понимания воплощения их в жизнь на примере современных проектов.

Говоря об идее организмического подхода и концепции открытых систем, предложенные Л. фон Берталанфи, можно сказать, что они заложили фундамент для разработки универсальной системной теории. Данная теория обеспечила возможность успешного анализа и изучения механизмов в системах разнообразной природы, включая такие аспекты как: технические, биологические и социально-экономические [7].

### **Материал и методы**

В настоящее время, когда технологии развиваются стремительными темпами, возникает необходимость в новых подходах к созданию систем, которые были бы полезны и эффективны, подобно живым организмам. Это требует глубокого переосмысления того, как мы видим и разрабатываем открытые системы и принимаем организмический подход к их развитию.

Среди появившихся новшеств значительное внимание заслуживает концепция «киберфизических систем» (CPS), представляющая собой слияние вычислительной техники с физическими процессами, открывая новые горизонты для развития технологий. Открытые системы, адаптируя данное понятие, способствуют формированию и углублению теоретических основ киберфизических систем, обеспечивая тем самым более широкие возможности для их развития и внедрения в практику [1].

Клаус Шваб - немецкий экономист, идеолог «Четвертой промышленной революции», утверждает, что её масштабы, объем и сложность несравнимы с чем-либо, что человечество встречало ранее. Он считает революцию уникальной потому как, она объединяет воедино физический, цифровой и биологический аспекты, открывая перед нами как неограниченные возможности, так и невиданные ранее риски. Несмотря на это Шваб предопределяет, что по началу нововведения будут вводиться поодиночке, но со временем эти технологии начнут взаимодействовать, усиливая друг друга и создавая тесную сеть связей между физическим миром, биологией и цифровыми технологиями. В наше время технологии позволяют найти ответы на множество проблем, стоящих перед нами, но и в тоже время они и сами ухудшают ситуацию с этими же проблемами. В свете этого, становится критически важным глубже изучать характеристики и потенциал развития открытых систем [5].

Л. фон Берталанфи в 1937 году, на одном из семинаров в Чикагском университете предложил революционную концепцию, ставшей основой для организмического подхода. Позднее разработал теорию открытых систем, вдохновившись живыми организмами, которые демонстрировали сложную структуру и динамику, не поддающуюся объяснению через классическую механическую модель научного понимания, основанную на физике и традиционных законах термодинамики. Это наблюдение подтолкнуло его к выводу, что существующие теории не в состоянии адекватно описать феномены самоорганизации, адаптации и эволюции, характерные для живых систем. Таким образом, он предложил новый взгляд на управление и развитие систем через призму открытых систем, которые, в отличие от изолированных, подчиняются термодинамическим процессам, дающим вызовы традиционному пониманию второго закона термодинамики [7].

В контексте теории Л. фон Берталанфи о системах, открытые системы, которые включают обмен и изменение материи, могут эффективно уменьшать уровень своей энтропии, то есть увеличивать свою упорядоченность. Это контрастирует с закрытыми системами, где наблюдается тенденция к росту энтропии и кульминации в хаосе. В результате, в то время как закрытые системы неизбежно движутся к более высокому уровню беспорядка, открытые системы имеют потенциал не только поддерживать, но и повышать свою структурированность, даже становясь более сложными.

Л. фон Берталанфи выявил уникальную особенность в открытых системах, заключающуюся в их способности противодействовать разрушительным энтропийным процессам благодаря негэнтропийным тенденциям. Это открытие ставит под сомнение второй закон термодинамики. В своем организмическом подходе Берталанфи подчеркивает сходство между открытыми системами и живыми биологическими организмами, подчеркивая их естественную приспособленность к поддержанию порядка вопреки тенденциям к хаосу [7].

В этот же период в 1930-е годы, Э. Баузер, ученый из России с венгерскими корнями, совершил прорыв в изучении биологических систем. Им было раскрыто, что живые организмы постоянно стремятся к состоянию нестабильности, отличающемуся от равновесия, чтобы поддерживать своё существование за счёт внешней энергии. Данный процесс, по его словам, обусловлен особенностью живых клеток содержать энергию, которая в избытке по сравнению с аналогичными неорганическими структурами, что позволяет им не тратить её на активные действия, а использовать для поддержания своего нестабильного состояния [6].

Таким образом, исходя из закономерности Л. фон Берталанфи и принципа Э. Баузера система имеет ряд особенностей, представленных на рисунке 1 ниже.

### Теория

Представленные особенности разнообразны по своей сущности. В большинстве случаев, они обладают амбивалентностью, сочетая в себе как положительные, так и отрицательные аспекты, которые в той или иной степени могут отразиться на социоэкономической структуре благоприятно или нет. С одной стороны, среди данных характеристик присутствуют свойства, способствующие выживанию и адаптации системы к эволюционирующим обстоятельствам. С другой стороны, эти признаки могут привести к неопределенности системы и непредсказуемости её реакций. Исследования привели к выводу о том, что динамические элементы внутри открытых систем способствуют активному взаимодействию с окружающей средой, задействуя обмен данными, ресурсами, и проявление инициативных действий.



Рисунок 1 - Особенности открытой системы

Так, открытую систему можно отобразить, как универсальную модель, основанную на теории множеств, применимую как в контексте киберфизических систем (CPS), так и для общего развития организации:

$$S \text{ def } \equiv Sif, TECH, SR, COND, N, \quad (1)$$

где  $S = \{s\}$  – совокупность целей и функций открытой системы;

$Sif$  – содержание процесса управления открытой системы и формы его реализации; при моделировании процесса управления предприятием эту составляющую можно представить совокупностью структур, то есть:  $STR = \{STR_{\text{пр}}, STR_{\text{орг}}, \dots\}$  – совокупность структур, реализующих цели (например, для предприятия  $STR_{\text{пр}}$  – производственная,  $STR_{\text{орг}}$  – организационная и т. д.);

$TECH = \{\text{meth}, \text{means}, \text{alg}, \dots\}$  – совокупность технологий (методов  $\text{meth}$ , средств  $\text{means}$ , устройств, алгоритмов  $\text{alg}$  и т. д.), реализующих становление и развитие системы;

$SR$  – среда, с которой взаимодействует открытая система;

$COND = \{\text{фех}, \text{fin}\}$  – факторы, влияющие на процесс управления функционированием и развитием системы (фех – внешние, fin – внутренние);

$N$  – стейхолдеры (по Р. Аккофу), то есть лица, занимающиеся созданием программ и алгоритмов, вносящие инновации в технологии, формирующие процедуры для эффективного принятия решений в управлении, определяющие цели, выбирающие подходы к моделированию и инструменты для контроля.

Представление модели в формализованном виде помогает сохранять целостное представление организации процесса выращивания и устойчивого развития открытой системы, не упустив все компоненты этого процесса.

В следствие создания искусственных систем, которые могут адаптироваться к новым

условиям, генерировать различные поведенческие стратегии, модифицировать свою структуру по мере необходимости, выставлять и достигать целей, подобно живым, эволюционирующими организмам, необходимо опираться на выводы, полученные из изучения живой природы. Данные выводы показывают, что, пытаясь, создать алгоритмы для управления всеми процессами в живых организмах это приведет к неопределенности. Таким образом, важность управления в открытых системах заключается в гибкости и способности к самоорганизации, что является ключом к эффективному развитию и адаптации.

Создавать алгоритмы, точно отражающие действия человека, кошки или всех процессов на каком-либо предприятии, является задачей за пределами возможного. Вместо этого, как указывает С. Лем, реализация моделей, представляющих собой упрощенные копии действительности с учетом лишь некоторых её аспектов, позволяет формировать управляемые стратегии, способные влиять и модифицировать поведение таких систем. Эти модели не обязаны следовать строгим формальным правилам, они также могут быть носителями описательной или, как их часто называют в подобных контекстах, «интерпретирующей» природы [3].

Так, говоря об открытых производственных системах, исследования показывают, что их эволюция обусловлена не просто взаимодействием с окружающей средой, но также инициативами внутренних активных агентов, которые не только способствуют интеграции инноваций, но и направляют этот процесс. Эти инновации могут быть адаптированы из внешней среды, основываясь на предпочтениях и решениях внутренних участников, ответственных за направление развития системы.

Сравнивая с живыми системами, которые Э. Бауэр описывает как постоянно активные, стремящиеся к использованию своей избыточной энергии для сопротивления достижению статического равновесия, соответствующего физическим и химическим законам, инженерия также демонстрирует похожие черты. В этом контексте, избыточная энергия в социальных и экономических системах трансформируется в информацию, которая является центральным элементом, поддерживающим инновации. Эти инновации, в свою очередь, способствуют росту и эволюции организаций, отражая теорию органической эволюции, введенную Л. фон Берталанфи.

Э. Бауэр предлагает интересную теорию, согласно которой живые клетки используют энергию не так, как машины. В отличие от механизмов, где внешняя энергия прямо преобразуется в работу, живые клетки направляют полученную энергию на поддержание собственной «избыточной энергии». Так, энергия, поступая в организм поглощается для поддержания и обновления структуры клеток, и для создания условий их восполнения. В свою очередь механизмы направляют её в работу.

Исходя из этого Э. Бауэр пришел к выводам, которые в контексте организаций подчеркивают важность поддержания излишка не столько энергии, сколько информации. Это требует от инжиниринга непрерывного вложения усилий и ресурсов в сбор и эффективное использование информации, применяя её для разработки оборудования, материалов, а также планирования и контроля за производственными процессами и общей деятельностью компаний [6].

Применение принципов системного подхода к анализу устойчивого прогресса в открытых системах выявляет сложную роль активных компонентов. Эти компоненты, стимулирующие нововведения и их взаимное влияние, способствуют возникновению уникальных свойств. Таким образом, в процессе взаимодействия активных элементов открытых систем наблюдается формирование эмерджентных качеств. Эти качества являются ключевыми для противодействия увеличению беспорядка, характерного для закрытых систем и описываемого вторым законом термодинамики. Так, благодаря этим процессам, открытые системы, согласно исследованиям Л. фон Берталанфи, продолжают свое развитие, противостоя изоляции и стагнации.

В тоже время активное продвижение и внедрение нововведений, несмотря на их очевидные преимущества, часто приводит к нестабильности и возможным негативным последствиям для организаций и предприятий. Это вызывает необходимость в разработке стратегий

устойчивого развития, которые бы учитывали риски, связанные с применением этих новшеств. Исследования в области инноваций подтверждают, что внедрение новшеств может серьезно нарушить привычный порядок вещей, приводя к «креативному разрушению». В свете этих вызовов, предприятиям и организациям необходимо активно работать над созданием систем управления, которые бы способствовали поддержанию их стабильности в процессе освоения и применения инновационных подходов.

Исследование процессов, связанных с увеличением и уменьшением уровня энтропии в системах, открытых для внешних воздействий, показывает их двойственную природу. Инновации, способствующие прогрессу и развитию, зачастую ведут к дестабилизации, внося хаос и неорганизованность, что можно рассматривать как процесс «креативного разрушения», описанный Йозефом Шумпетером и Вернером Зомбартом, с одной стороны поддерживая рост и развитие, а с другой – вызывая дестабилизацию [4].

Однако, то, что казалось проявлением хаоса на самом деле способствует укреплению устойчивости системы. Это происходит благодаря тому, что процессы, увеличивающие энтропию, в итоге ведут систему к её наиболее стабильному, энергетически минимальному состоянию. Чтобы понять этот на первый взгляд странный противоречивый момент, используются основы системного подхода. Данные основы позволяют изучать как упорядоченные, так и неупорядоченные процессы внутри системы, подчеркивая главные моменты в данном исследовании.

Закономерность целостности (эмержентность) проявляется в следующем:

1. Свойства системы (целого)  $Q_s$  не является простой суммой свойств, составляющих её элементов  $q_i$ :

$$Q_s \neq \sum_{i=1}^n q_i. \quad (2)$$

2. Свойства системы (целого) зависят от свойств, составляющих её элементов:

$$Q_s = f(q_i). \quad (3)$$

В контексте системы, компоненты испытывают изменения, утрачивая часть своих первоначальных особенностей, которыми они обладали, когда находились вне системы. Это связано с ограничениями, налагаемыми системой на их деятельность. Однако, становясь частью более крупного целого, эти компоненты получают возможность приобрести новые свойства за счет взаимодействия и синергетических отношений с остальными элементами системы.

Так, законы, подчеркивающие целостность, контрастируют с аддитивным принципом, объясняющим, что системы состоят из различных компонентов. В тоже время внедрение системы уровней в любой структуре или организации, как подтверждает идея о ключевом значении иерархического устройства, неизбежно порождает ряд новых, зачастую сложно предсказуемых и трудных для управления атрибутов. Проблемы подобного рода, схожие с эффектами эмерджентности, могут быть обнаружены в различных слоях иерархии. Тем не менее, важно отметить, что более высокие эшелоны иерархии играют регулирующую роль по отношению к нижестоящим уровням, обеспечивая тем самым возможность последним приобретать новые свойства, которые они не проявляли в отсутствие взаимодействия.

Присваивание новых атрибутов инициирует формирование улучшенного образа с дополнительными способностями, что становится ключом к созданию структурной иерархии. Важность непрекращающегося мониторинга за сохранением единства и стабильности системы высока для обеспечения её постоянного прогресса. В этом контексте разрабатываются специализированные модели, использующие информационные технологии. А. А. Денисов предложил методы для оценки иерархических систем, оценивая их интеграцию и единство:

$$a = -\frac{C_B}{C_o} \quad (4)$$

и коэффициента использования элементов в целом:

$$\beta = C_c / C_o, \quad (5)$$

где  $C$  – оценка информационной сложности системы  $C = J \cap H$ ;

J – информация восприятия;

H – информационная сущность (потенциал);

$C_c, C_o, C_v$  – системная, собственная и взаимная сложности системы.  $C_c = C_o + C_v$ . [4]

Для того чтобы обеспечить устойчивое прогрессирование системы, критически важно непрерывно следить за тем, чтобы она оставалась целостной и устойчивой. Одновременно, как в общем, так и в частности для каждого элемента социоэкономических систем, необходима целенаправленность, что порождает сложности в решении конфликтов между отдельными компонентами и системой в целом. В эпоху интенсивного технологического прогресса управление открытыми системами представляется особенно сложным. Поэтому решающее значение имеет тщательный выбор инновационных технологий, которые следует оценивать с учетом их индивидуальных свойств, возможностей, преимуществ, а также предвидеть возможные последствия их использования.

### ***Результаты и обсуждение***

Так, подробно рассмотрев организмический подход, изучив идеи и принципы об открытых системах можно перейти к управлению сложными транспортными системами, которые в свою очередь являются теми самыми открытыми системами, взаимодействующие между собой и включающие в себя транспортные потоки, инфраструктуру, средства передвижения и пользователей. Изучение и управление транспортными системами требует интеграции различных областей знаний, а именно транспортной инженерии, операционного исследования, информатики и управлеченческих наук. Эффективность этой системы зависит от способности координировать и оптимизировать её различные компоненты и функции.

Принимая во внимание увеличивающийся объем данных и возросшую сложность транспортных систем, применение технологий, таких как искусственный интеллект (AI) и большие данные, становится ключевым элементом в управлении и анализе транспортных систем для прогнозирования тенденций и поведения пользователя, оценки воздействия на окружающую среду и создания интеллектуальных транспортных решений.

Управление транспортными системами в современном мире предполагает не только учет текущего состояния системы, но и предвидение будущих изменений для поддержания устойчивости и гибкости в долгосрочной перспективе. Так, важную роль играют информационные технологии, которые позволяют собирать, обрабатывать и анализировать огромные объемы данных в реальном времени. Применение таких технологий способствует повышению эффективности и надежности транспортных систем, а также улучшению условий безопасности. Например, одной из ключевых технологий является система GPS, обеспечивающая точное позиционирование транспортных средств. В сочетании с ГИС (Геоинформационными Системами), GPS позволяет не только отслеживать местоположение, но и планировать оптимальные маршруты с учетом текущего трафика [2].

Для обработки больших данных применяются системы, основанные на принципах искусственного интеллекта и машинного обучения. Эти системы способны анализировать поведение потоков транспорта, предсказывать возможные проблемы и предлагать решения для предотвращения дорожных заторов и аварий.

Транспортные системы становятся все более интегрированными благодаря развитию технологий межмашинного взаимодействия и интернета вещей. Это позволяет устройствам в реальном времени обмениваться данными и координировать действия, обеспечивая более плавное и согласованное движение потоков.

Современные системы управления трафиком, такие как интеллектуальные транспортные системы (ИТС), включают в себя сенсоры и камеры на дорогах, которые передают информацию в центры управления транспортом. Там данные обрабатываются, и на основе этого могут быть внесены корректировки в сигнализацию светофоров, информационные дорожные знаки и другие механизмы регулирования дорожного движения.

Помимо прочего, в качестве открытой транспортной системы подразумеваются, например, аэропорты, где происходит взаимодействие множества отделов, структур, отвечающих за определенные функции, что в совокупности представляет собой управление слож-

ной транспортной системой, начиная от проверки пассажиров по прибытии в аэропорт, оформление, заканчивая посадкой пассажиров в воздушное судно и перевозкой их до места следования, где специалисты на всем пути следования отслеживают каждое воздушное судно, погодные условия по пути следования и т.д.

### **Выходы**

Таким образом, управление потоками в сложных транспортных системах требует интеграции передовых научных подходов и новейших технологий. Сегодня в центре внимания исследователей - методы искусственного интеллекта и машинного обучения, способные в реальном времени анализировать огромные массивы данных о движении транспорта, предсказывать загрузку дорожной сети и оптимизировать маршруты как для обычных пользователей, так и для компаний, например, по перевозке грузов наземным или воздушным транспортом, а также по перевозке пассажиров.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Волкова В.Н., Логинова А.В., Черненькая Л.В., Романова Е.В., Черный Ю.Ю., Ланкин В.Е. Проблемы устойчивого развития социально-экономических систем при внедрении инноваций // Материалы 3-й Международной конференции по человеческому фактору в сложных технических системах и средах. №3. 2018. С. 52-56.
2. Волкова В.Н., Логинова А.В., Леонова А.Е., Черный Ю.Ю. Подход к сравнительному анализу и выбору технологических инноваций третьей и четвертой промышленных революций // XXI Междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2018): Сборник докладов в 2-х томах. 2020. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ». С. 372-377.
3. Волкова В.Н., Кудрявцева А.С. Модели для управления инновационной деятельностью промышленного предприятия // Открытое образование. 2019. №22(4). С. 65- 74.
4. Кудрин А.Л. Экономическое развитие. Т.1. Москва: Дело РАНХиГС, 2020. 472 с.
5. Шваб К., Дэвис Т. Технологии четвертой промышленной революции. М.: «Э», 2019. 321 с.
6. Эрвин С. Бауэр Теоретическая биология. Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Институт компьютерных исследований, 2019. 280 с.
7. Цепковская Т.А., Львович Я.Е. Анализ в транспортных системах инструментальных компонентов // Сборник статей XIII Международной научно-технической конференции. Курск. 2021. С 325-327.
8. Трацевский В.В Имитационное моделирование в системе транспортной логистики при помощи Anylogic // Цифровой регион: опыт, компетенции, проекты: Труды II Международной научно-практической конференции. Брянск: Брянский государственный инженерно-технологический университет. 2019. С697-701.
9. Чебыкин И.А Автоматизация мониторинга дорожного движения с помощью компьютерного зрения. // Мир транспорта., №6. 2020. С. 74-87.
10. Семенова А.А., Малахов А.А. Долгосрочное прогнозирование и планирование развития логистических систем транспорта России в условиях цифровизации экономики // Инновации и инвестиции. №5. 2019. С. 277-281.
11. Реутов Е.В., Королев Я.С. Конкурентоспособность цепочек поставок при управлении развитием транзитных грузопотоков по региональным транспортным системам России и стран СНГ // Транспортное дело России. №1. 2022. С 177-178.
12. Роговичене Л.И., Емец А.В. Внедрение беспилотных транспортных средств в инфраструктуру Санкт-Петербурга: исследование проблем // Мир транспорта. 2022. №2. С. 52-59.
13. Жгулев С.С. Обоснование эффективности автоматизации транспортных потоков агропромышленного предприятия // Инновационные технологии в АПК. Теория и практика: Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной 60-летию Института экономики. Казань. 2021. С. 61-64.
14. Баранов Л.А., Сафонов А.И., Сидоренко В.Г. Планирование движения поездов в интеллектуальных транспортных системах // Надежность. 2022. Т. 22. №3. С. 35-43.
15. Карабашева М.Р. Методы исследования национальных транспортных систем Проблемы экономики и юридической практики. 2019. Т. 15. №6. С. 99-106.

### **Малихина Олеся Владимировна**

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)

Адрес: 190013, Россия, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, 26

К.э.н., доцент кафедры бизнес-информатики

E-mail: lesya265@gmail.com

## SCIENTIFIC FOUNDATIONS OF MANAGEMENT OF COMPLEX TRANSPORT SYSTEMS

**Abstract.** In the modern world, which is developing against the background of industrial revolutions, transport networks are becoming especially important. Their role in economic growth and social interaction is invaluable. Over time, these systems evolve into complex multi-level structures, ranging from personal vehicles to extensive air routes. To ensure their operability, safety and reliability, it requires not only a deep understanding, but also the use of advanced scientific approaches. So, to consider this topic, one of the approaches is the concept of an open system proposed by L. von Bertalanfi, the study of which is necessary to improve system methodologies and improve their effectiveness in analyzing complex tasks relevant in the modern world. The paper examines the key ideas of the open systems concept, analyzes the importance of these components for the progress of the system, and also examines issues related to maintaining sustainable development within the framework of open systems.

**Keywords:** innovations, innovative technologies, organizational approach, open system, industrial enterprise, theory of systems, technologies, transport systems

### BIBLIOGRAPHY

1. Volkova V.N., Loginova A.V., Chernen`kaya L.V., Romanova E.V., Chernyy YU.YU., Lankin V.E. Problemy ustoychivogo razvitiya sotsial`no-ekonomiceskikh sistem pri vnedrenii innovatsiy // Materiały 3-y Mezhdunarodnoj konferencii po chelovecheskomu faktoru v slozhnykh tekhnicheskikh sistemakh i sredakh. №3. 2018. S. 52-56.
2. Volkova V.N., Loginova A.V., Leonova A.E., Chernyy YU.YU. Podkhod k srovnitel`nomu analizu i výboru tekhnologicheskikh innovatsiy tret`ey i chetvertoy promyshlennyykh revolyutsiy // XXI Mezhdunar. konf. po myagkim vychisleniyam i izmereniyam (SCM-2018): Sbornik dokladov v 2-kh tomakh. 2020. SPb.: SPbGETU «LETI». S. 372-377.
3. Volkova V.N., Kudryavtseva A.S. Modeli dlya upravleniya innovatsionnoy deyatel`nost`yu promyshlennogo predpriyatiya // Otkrytie obrazovanie. 2019. №22(4). S. 65- 74.
4. Kudrin A.L. Ekonomicheskoe razvitiye. T.1. Moskva: Delo RANHiGS, 2020. 472 s.
5. SHvab K., Devis T. Tekhnologii chetvertoy promyshlennoy revolyutsii. M.: "E", 2019. 321 s.
6. Ervin S. Bauer Teoreticheskaya biologiya. Izhevsk: Regulyarnaya i khaoticheskaya dinamika, Institut komp`yuternykh issledovanii, 2019. 280 c.
7. Tsepkovskaya T.A., L`vovich YA.E. Analiz v transportnykh sistemakh instrumental`nykh komponentov // Sbornik statyej XIII Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii. Kursk. 2021. S 325-327.
8. Tratsevskiy V.V Imitatsionnoe modelirovaniye v sisteme transportnoy logistiki pri pomoshchi Anylogic // Tsifrovoy region: opty, kompetentsii, proekty: Trudy II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Bryansk: Bryanskij gosudarstvennyj inzhenerno-tehnologicheskiy universitet. 2019. S697-701.
9. Chebykin I.A Avtomatizatsiya monitoringa dorozhnogo dvizheniya s pomoshch`yu komp`yuternogo zreniya. // Mir transporta., №6. 2020. S. 74-87.
10. Semenova A.A, Malakhov A.A. Dolgosrochnoe prognozirovaniye i planirovaniye razvitiya logisticheskikh sistem transporta Rossii v usloviyakh tsifrovizatsii ekonomiki // Innovatsii i investitsii. №5. 2019. S. 277-281.
11. Reutov E.V., Korolev YA.S. Konkurentosposobnost` tsepochej postavok pri upravlenii razvitiem tranzitnykh gruzopotokov po regional`nym transportnym sistemam Rossii i stran SNG // Transportnoe delo Rossii. №1. 2022. S 177-178.
12. Rogavichene L.I., Emets A.V. Vnedrenie bespilotnykh transportnykh sredstv v infrastrukturu Sankt-Peterburga: issledovaniye problem // Mir transporta. 2022. №2. S. 52-59.
13. ZHgulev S.S. Obosnovanie effektivnosti avtomatizatsii transportnykh potokov agropromyshlen-nogo predpriyatiya // Innovatsionnye tekhnologii v APK. Teoriya i praktika: Materiały Vserossiyskoy (natsional`noy) nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoy 60-letiyu Instituta ekonomiki. Kazan`. 2021. S. 61-64.
14. Baranov L.A., Safronov A.I., Sidorenko V.G. Planirovaniye dvizheniya poezdov v intellektual`nykh transportnykh sistemakh // Nadezhnost`. 2022. T. 22. №3. S. 35-43.
15. Karabasheva M.R. Metody issledovaniya natsional`nykh transportnykh sistem Problemy ekonomiki i yuridicheskoy praktiki. 2019. T. 15. №6. S. 99-106.

**Malikhina Olesya Vladimirovna**

St. Petersburg State Institute of Technology (Technical University)

Address: 26 Moskovsky Prospekt, Saint Petersburg, 190013, Russia

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Business Informatics

E-mail: lesya265@gmail.com

## **ЛОГИСТИЧЕСКИЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ**

---

Научная статья

УДК 656.078

doi:10.33979/2073-7432-2024-4-3(87)-104-111

К.А. БЫЧКОВА, А.В. ПОДКОПАЕВ, О.Ю. БУЛАТОВА, Ю.Н. ЛИННИК

# **АНАЛИТИКА ПЕРВИЧНЫХ ДАННЫХ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**Аннотация.** В статье представлена необходимость в разработке эффективных инновационных методов интеллектуального анализа и предотвращения аварийных ситуаций на фоне увеличения числа дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Целью данного исследования является аналитика первичных данных ДТП с целью повышения результативности функционирования интеллектуальных транспортных систем (ИТС). Анализ исходных данных о происшествиях на дороге строится на взаимосвязи между сбором необходимой информации из различных источников, таких как статистические отчёты, камеры фото- и видеофиксации, географических информационных систем и сетевой анализ. Результаты научного исследования в области организации дорожного движения показывают, что объединение аналитики первичных данных ДТП в ИТС служит не только повышению безопасности на улично-дорожной сети, но и результативному ранжированию дорожных ресурсов, связанных с ДТП.

**Ключевые слова:** дорожно-транспортные происшествия, безопасность дорожного движения, интеллектуальные транспортные системы, аналитика, статистический анализ, транспортная инфраструктура

### **Введение**

В последние десятилетия проблема роста числа дорожно-транспортных происшествий и управления интеллектуальными транспортными системами в силу увеличения автомобилизации стали краеугольными камнями исследований в области безопасности дорожного движения. С ростом движения транспортных средств по транспортной сети и увеличением количества аварийности на дорогах, потребность в создании передовых инструментов и новейших методов для интеллектуального анализа первичных данных, связанных с ДТП, становится крайне актуальной. В соответствии с определением интеллектуальной транспортной системой это система, использующая инновационные разработки в моделировании транспортных систем и регулировании транспортных потоков, предоставляющая конечным потребителям большую информативность и безопасность, а также качественно повышающая уровень взаимодействия участников движения по сравнению с обычными транспортными системами [1]. ИТС, которые, в свою очередь, направлены на снижение происшествий на дороге, повышения БДД и совершенствование движения транспортных потоков, нуждаются в объединении больших статистических данных, чтобы организовать их целесообразную работу.

### **Материал и методы**

Исходные данные, которые поступают из большого количества источников - от камер фото- и видеофиксации и радаров по отслеживанию нарушения скоростного режима до интеллектуального анализа и статистических данных о происшествиях, - обладают весомыми возможностями для оптимизации систем управления и мониторинга транспортными потоками, а также для совершенствования показателей состояния безопасности дорожного движения [2].

Диагностика поступающей информации позволяет установить определённые закономерности, анализировать социальные риски и привести в порядок маршруты, что, в то же время, служит снижению числа происшествий на дороге и повышению безопасности дорожного движения.

Введение аналитических подходов относительно данных о ДТП в процесс управления транспортным потоком не только оправдывает необходимость в формировании структуры более безопасной системы, но и способствует конструированию и расчётом эффективных стратегий реагирования на аварийные ситуации на дороге и определения влияющих факторов и причин в разрезе городов. Использование автоматизированных матриц и инновационных технологий для количественной обработки и интеллектуального анализа статистических данных обеспечивает потенциал не только для оперативного реагирования, но и для долгосрочного организации и прогнозирования транспортных потоков.

Следовательно, грамотная аналитика первичных данных дорожно-транспортных происшествий выступает ведущим инструментом с точки зрения разработки и улучшения эффективности функционирования интеллектуальных транспортных систем.

Аналитика первичных данных ДТП выступает в роли ключевого элемента в сфере контроля и регулирования безопасности на дороге и модернизации транспортных потоков. Их можно классифицировать на:

- 1) сбор информации о случившихся ДТП;
- 2) обработка влияющих причин и сопутствующих факторов;
- 3) анализ аварийности с целью выявления закономерностей;
- 4) разработка мер по предотвращению ДТП и профилактические мероприятия [3].

Дорожно-транспортные происшествия и меры, принимаемые для повышения результативности функционирования интеллектуальных транспортных систем на улично-дорожной сети, рассматривались через призму статистического анализа исходных данных. Чтобы наглядно проиллюстрировать рассматриваемую тему для более четкого понимания ее сути, приведем пример статистических данных за период с 2018 по 2023 годы в Белгородской области (рис. 1).

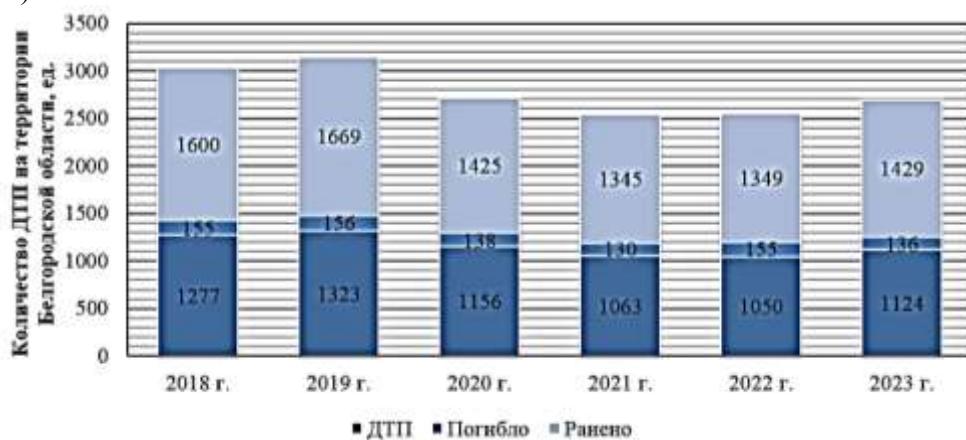


Рисунок 1 – Дорожно-транспортные происшествия в Белгородской области за 2018-2023 гг.

На графике видно, что уровень числа раненых, погибших и ДТП в 2023 году значительно ниже, по сравнению с анализируемым 2018 годом. И если в 2018 году в Белгородской области число аварийности было равно 1277, то уже в 2023 году данные заметно изменились – 1124 (-11,9 %). Такая же ситуация наблюдается и в сравнении в другом периоде: 2019 год – 1323 (+3,6 %), 2020 год – 1156 (-12,6 %), 2021 год – 1063 (-8 %), 2022 год – 1050 (-1,2 %), 2023 год – 1124 (+7 %). Что касается смертности в субъекте РФ, то за рассматриваемый период 2018-2023 гг. в Белгородской области число раненых составило 8817, из которых погибших – 870 человек, что составило 9,8% от общего числа раненых.

Источниками первичных данных выступают не только отчёты о происшествиях, содержащие основную информацию о времени, месте и ТС, но и данные с камеры фото- и ви-

деофиксации, радаров и сенсоров. Так же к ним можно отнести информацию о движении транспортных средств по трассам разного значения (федерального, регионального/межмуниципального, местного) и информацию о погодно-климатических условиях и возможных нарушениях всеми участниками дорожного движения (водитель и пешеход). Для качественной обработки количественных данных о происшествиях на дороге используются существующие методы аналитики, благодаря которым можно подробнее изучить случай. Применение статистических методов исследования, к которому относят описательный и регрессионный анализ позволяет определить влияющие причины и факторы на уровень ДТП в городах [4]. Математические автоматизированные матрицы, оценка взаимосвязей между различными сопутствующими факторами и географические информационные системы помогают прогнозировать вероятность случившихся происшествий по рассматриваемым показателям состояния безопасности дорожного движения на будущий месяц или год. Более того, аналитика первичных данных даёт возможность существенно повысить уровень безопасности транспортной инфраструктуры [5-9], предпринять меры по повышению количественных данных относительно участков дороги с высоким уровнем риска аварийности и определить более безопасный маршрут, уклоняясь от зон с повышенным уровнем вероятностью возникновения ДТП.

Согласно статистическим данным в Белгородской области, как и в других регионах РФ, возрастная структура виновных водителей в дорожно-транспортных происшествиях, играет ключевую роль в аналитике первичных данных уровня аварийности на дороге и безопасности дорожного движения в субъекте. Исследования демонстрируют, что разные возрастные группы виновных водителей могут обладать различным уровнем социального риска и индивидуальной группой влияющих факторов на возникновение ДТП (рис. 2).

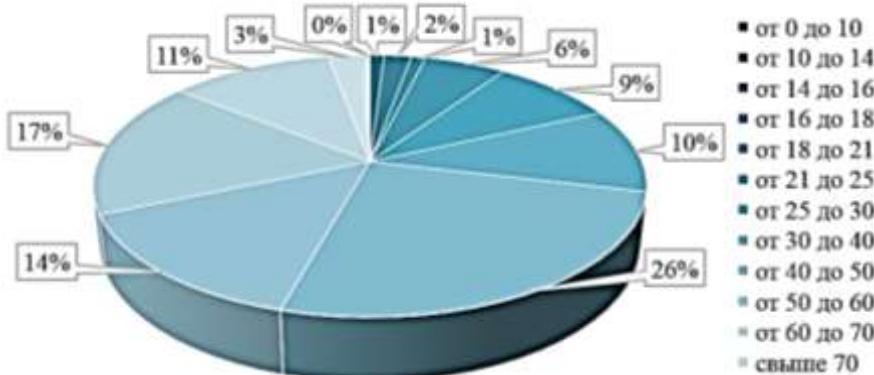


Рисунок 2 - Возрастная структура виновных водителей в дорожно-транспортных происшествиях в Белгородской области

На графике представлено процентное распределение виновных водителей в ДТП в разрезе исследуемой Белгородской области по возрастным группам, где, согласно статистическим данным, водители транспортных средств в возрасте 30-40 лет, 40-50 лет и 50-60 лет часто становятся участниками ДТП из-за высокого уровня физической утомлённости, невнимательности, а также вождения в алкогольном опьянении. Водители транспортных средств старше 60 и 70 лет сталкиваются с повышенным риском аварийности. В силу возрастных изменений, такие как ухудшение зрения, увеличивают вероятность возникновения дорожно-транспортных происшествий с их участием, что составляет 11% для категории от 60 до 70 лет и 3% для категории водителей старше 60 лет. Касаемо молодого поколения, категории водителей от 10 до 14 лет, от 14 до 16 лет, от 16 до 18, от 18 до 21, от 21 до 25 и от 25 до 30, то высокая вероятность

#### Теория / Расчёт

С целью наглядной иллюстрации, относительно расчётов, согласно статистическим данным по показателям состояния безопасности дорожного движения, можно рассмотреть

вероятность возникновения ДТП по выбранным категориям в Белгородской области за рассматриваемый период 2018-2023 гг. В качестве наглядного примера по расчётом вероятности возникновения ДТП по выбранному показателю состояния безопасности дорожного движения рассматриваем 2023 год.

Расчёт доли возникновения дорожно-транспортных происшествий с участием водителей алкогольного опьянения в день недели относительно общего количества ДТП в Белгородской области рассчитывается по методу:

$$B_s = \frac{R_a * 100\%}{N_k}, \quad (1)$$

где  $R_a$  – выбранный день недели в Белгородской области относительно ДТП с участием водителей в алкогольном опьянении в 2023 г., ед.;

$N_k$  – общее количество ДТП с участием водителей в алкогольном опьянении в 2023 г., ед.

Решение формулы (1) имеет вид:

$$B_s = \frac{22*100\%}{76} = 28\%.$$

Согласно проведённому интеллектуальному статистическому анализу относительно расчетов вероятности возникновения дорожно-транспортных происшествий (ДТП) с участием водителей, находящихся в состоянии алкогольного опьянения, по выбранным показателям состояния безопасности дорожного движения, а именно исследование по дням недели в Белгородской области за период с 2018 по 2023 год, установлены определённые тенденции. Данные результаты дают возможность провести более качественный анализ и сделать аргументированные заключения исследования о влиянии алкоголя на безопасность дорожного движения в городе и субъекте РФ в целом (табл. 1).

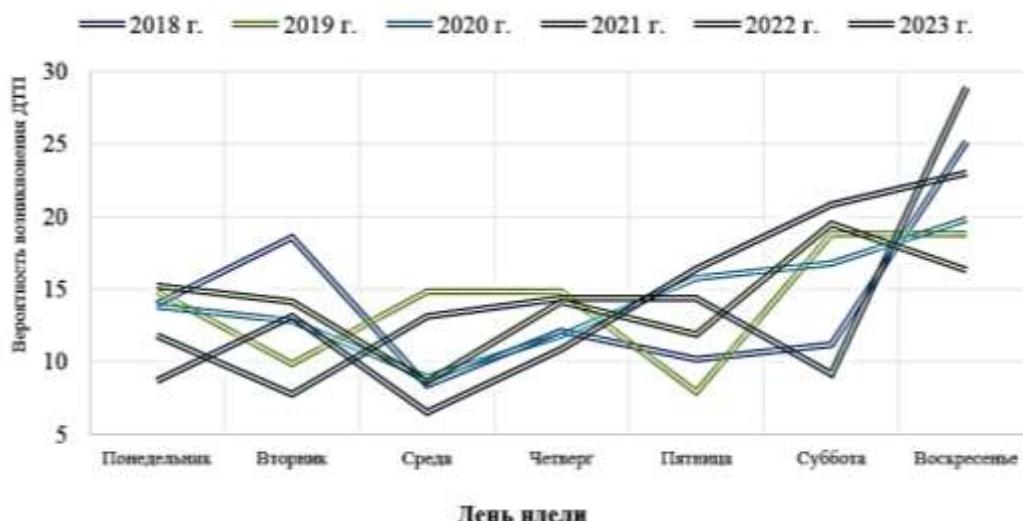
Таблица 1 – Вероятность возникновения ДТП с водителями в состоянии алкогольного опьянения в Белгородской области за период 2018-2023 гг.

День недели/ год	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Понедельник	14 %	14,8 %	13,8 %	8,7 %	15,2 %	11,8 %
Вторник	18,6 %	9,9 %	12,8 %	13,1 %	14,1 %	7,8 %
Среда	8,4 %	14,8 %	8,9 %	6,5 %	8,6 %	13,1 %
Четверг	12,1 %	14,8 %	11,8 %	10,9 %	14,1 %	14,4 %
Пятница	10,2 %	7,9 %	15,8 %	16,4 %	11,9 %	14,4 %
Суббота	11,2 %	18,8 %	16,8 %	20,8 %	19,5 %	9,2 %
Воскресенье	25,2 %	18,8 %	19,8 %	23 %	16,3 %	28,9 %

На основе полученных вероятностей возникновения ДТП по выбранным показателям за 2018-2023 гг. можно выстроить линию прогнозирования в Белгородской области на следующий год (при неизменных условиях, способствующих снижению числа аварийности), что, в свою очередь, может стать стартовой площадкой для разработки результативных мер и профилактических мероприятий по снижению количества происшествий с участием водителей в алкогольном опьянении и повышению безопасности на дороге. Точный интеллектуальный анализ рассчитанной базы данных по вероятности возникновения дорожно-транспортных происшествий с участием водителей в состоянии алкогольного опьянения по дням недели в Белгородской области за период с 2018 по 2023 год позволяет определить главные тенденции и своеобразие в ранжировании случаев аварийности в городе (рис. 3).

Построенная зависимость наглядно иллюстрирует, в какие дни недели (зачастую воскресенье) вероятность ДТП с участием водителей в состоянии алкогольного опьянения выше остальных. Подобный наглядный пример способствует дальнейшему выявлению наиболее опасные дни и периоды, а также принять необходимые меры и запланировать профилактиче-

ские мероприятия (усиление патрулирования, внедрение дополнительных мер безопасности на дорогах).



*Рисунок 3 - Вероятность возникновения ДТП по дням недели с участием водителей транспортных средств в алкогольном опьянении в Белгородской области за период с 2018 по 2023 гг.*

Водители среднего возраста (от 26 до 45 лет), как правило, обладают большим опытом и более зрелым подходом к вождению. Однако, несмотря на это, они также могут быть вовлечены в ДТП, зачастую из-за утомления, стресса или нарушения правил дорожного движения. Старшие водители (старше 45 лет) могут сталкиваться с физическими ограничениями, которые влияют на их реакцию и способность управлять автомобилем. Хотя они могут проявлять большую осторожность на дороге, возрастные изменения могут увеличивать риск аварийности.

### **Результаты**

Анализ возрастной категории виновных водителей в Белгородской области может помочь в разработке целевых программ повышения безопасности дорожного движения, направленных на обучение и информирование различных возрастных групп о рисках, связанных с вождением, а также о необходимости соблюдения правил дорожного движения. Кроме того, такие данные могут быть полезны для правоохранительных органов и местных властей при планировании дорожной инфраструктуры и мероприятий по снижению аварийности. К мерам по повышению безопасности дорожного движения относят: профилактику (мероприятия, тесты и лекции), организацию дорожного движения (внедрение передовых и современных стратегий в развитие ТС) [10-12], технический и дорожный надзор (использование спец. средств, наблюдение за передвижением участников дорожного движения).

### **Обсуждение**

Аналитика первичных данных дорожно-транспортных происшествий представляет собой инновационный инструмент для развития и повышения результативности жизнедеятельности интеллектуальных транспортных систем, и их отдельных элементов [13-15]. В результате интеллектуального статистического анализа были выявлены основные факторы, которые оказывают влияние на значимость реализуемого подхода. Первичные данные о видах, типе, количестве и месте происшествий на дороге служат стартовой платформой для качественного исследования влияющих причин и сопутствующих условий, которые, в свою очередь, приводят к увеличению количества аварийности в регионе. Используя автоматизированные математические матрицы или работу искусственного интеллекта, можно не только выявить тенденции исходя из имеющихся данных, но и прогнозировать вероятность возникновения ДТП по рассматриваемым показателям. Интеллектуальные транспортные системы могут группироваться с другими инновационными техническими платформами. Что касается увеличения результативности деятельности ИТС на основе статистической базы данных

ДТП, то полноценный интеллектуальный анализ ведёт к значительным изменениям в положительную сторону, как в социальной, так и экономической сферах.

### **Вывод**

Аналитика первичных данных дорожно-транспортных происшествий представляет собой ключевую функцию, которая содействует изменению количества происшествий на дороге в положительную сторону касательно повышения эффективности интеллектуальных транспортных систем. Опираясь на качественный интеллектуальный анализ, согласно статистическим данным по показателям состояния безопасности дорожного движения [16-20], вероятность указывает на возможность определения узких мест в транспортной инфраструктуре, а также разработке профилактических мероприятий и необходимых мер по совершенствованию безопасности дорожного движения в городах и субъектах РФ. Наряду с этим, следует отметить, что адаптация и внедрение аналитики первичных данных в рамках развития интеллектуальной транспортной системы способствует не только повышение безопасности на улично-дорожной сети, но и усовершенствованию качества жизни горожан (социальная сфера).

Следовательно, аналитика первичных данных о количестве ДТП выступает в роли не только как комплексного средства для повышения БДД, но и как ключевое звено в сформированной структуре устойчивого развития транспортных средств. Действенное применение рассматриваемых данных позволяет определить возможность качественной разработки высокоеффективной, безопасной и комфортной транспортной среды. Создание и своевременная интеграция интеллектуальной транспортной системы с учётом результатов и успешных практик могут гарантировать существенный прогресс в области дорожной безопасности и управления транспортными потоками.

### **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. Показатели состояния безопасности дорожного движения [Электронный ресурс]. Систем требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://stat.gibdd.ru/>.
2. Шевцова А.Г. Математический анализ определенных показателей безопасности дорожного движения в Российской Федерации // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2021. Т. 18. №6(82). С. 700-711.
3. Новиков А.Н., Новиков И.А., Шевцова А.Г. Обзор передовых технологий в области безопасности дорожного движения // Наукоемкие технологии и инновации: сборник докладов Международной научно-практической конференции. Ч. 5. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2016. С. 139-143.
4. Шевцова А.Г., Бурлуцкая А.Г., Васильева В.В. Внедрение интеллектуальной транспортной системы Ramp Metering на примере г. Белгород // Мир транспорта и технологических машин. 2018. №4(63). С. 42-48.
5. Макеев А.В., Лазарев С.Н. Анализ состояния БДД при выполнении мероприятий для достижения нулевой смертности // Поколение будущего: Взгляд молодых ученых - 2022: сборник научных статей 11-й Международной молодежной научной конференции. Т. 4. Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. С. 411-413.
6. Пугачев И.Н., Щеглов В.И. Методология разработки и реализации концепции безопасности дорожного движения и программы мероприятий на территории субъекта (на примере Хабаровского края) // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. 2017. №1. С. 92-96.
7. Булатова О.Ю. Принципы функционирования транспортной инфраструктуры в умных городах // Мир транспорта и технологических машин. 2022. №3-1(78). С. 73-78. DOI 10.33979/2073-7432-2022-1(78)-3-73-78.
8. Криволапова О.Ю. Подход к оценке эффективности объектов совершенствования транспортной сети // Научное обозрение. 2014. №11-2. С. 606-608.
9. Булатова О.Ю. Интеллектуальные транспортные системы. Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2022. 101 с.
10. Булатова О.Ю. Применение элементов интеллектуальных транспортных систем при организации транспортно-логистического обслуживания во время проведения массовых городских мероприятий // Дороги и мосты. 2022. №1(47). С. 294-304.
11. Кулев А.В., Новиков А.Н., Кулев М.В., Кулева Н.С. Повышение эффективности функционирования городского пассажирского транспорта // Информационные технологии и инновации на транспорте: материалы 2-ой Международной научно-практической конференции. Орел: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева. 2016. С. 378-382.

12. Еремин С.В., Новиков А.Н., Фроленкова Л.Ю. [и др.] Совершенствование дорожного движения в городе Красноярске на основе интеллектуальных транспортных технологий // Мир транспорта и технологических машин. 2023. №1-1(80). С. 76-86. DOI 10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-76-86.
13. Glagolev S., Shevtsova A., Shekhovtsova S. Basis for application of new-generation anti-icing materials as an efficient way to reduce the accident rate on roads in winter // Transportation Research Procedia. Vol. 36. Saint Petersburg: Elsevier B.V. 2018. P. 193-198. DOI 10.1016/j.trpro.2018.12.063.
14. Новиков А.Н., Шевцова А.Г. Безопасное и эффективное управление транспортными потоками в городской транспортной системе. Москва: Академия. 2022. 205 с.
15. Боровской А.Е., Шевцова А.Г. Исследование степени насыщения пересечения при учете классификации легковых автомобилей // Автотранспортное предприятие. 2014. №5. С. 51-53.
16. 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.
17. Semykina A., Zagorodnii N., Novikov I., Novikov A. Main directions of improving the maintenance and repair of vehicle units in the Far North // Transportation Research Procedia. St. Petersburg. 2021. P. 611-616. DOI 10.1016/j.trpro.2021.09.090.
18. Saplinova V., Novikov I., Glagolev S. Design and specifications of racing car chassis as passive safety feature // Transportation Research Procedia. Saint Petersburg. 2020. P. 591-607. DOI 10.1016/j.trpro.2020.10.071.
19. Novikov I.A., Lazarev D.A., Kudinov D.V. The estimation of friction coefficient of vehicle's blocked wheel given with contact patch of the tread with the road surface // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Vol. 10. №21. P. 42721-42724.
20. Шевцова А.Г., Новиков И.А., Боровской А.Е. Современный подход к управлению светофорным объектом // Информационные технологии и инновации на транспорте: материалы 2-ой Международной научно-практической конференции. Орел: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева. 2016. С. 366-370.

**Бычкова Кристина Александровна**

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова  
Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46  
Студент  
E-mail: christosh3003@gmail.com

**Подкопаев Антон Валерьевич**

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова  
Адрес: 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46  
Аспирант  
E-mail: palinoleum@yandex.ru

**Булатова Ольга Юрьевна**

Донской государственный технический университет  
Адрес: 344002, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162  
К.т.н., доцент кафедры организации перевозок и дорожного движения  
E-mail: mip.rnd@yandex.ru

**Линник Юрий Николаевич**

Государственный университет управления  
Адрес: 109542, Россия, г. Москва, Рязанский проспект, 99  
Д.т.н., проф., профессор кафедры экономики и управления в топливно-энергетическом комплексе Государственного университета управления  
E-mail: yn\_linnik@guu.ru

---

K.A. BYCHKOVA, A.V. PODKOPAEV, O.Y. BULATOVA, Y.N. LINNIK

**ANALYSIS OF PRIMARY TRAFFIC ACCIDENT DATA AS A TOOL TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF TRANSPORT AND LOGISTICS SYSTEMS**

**Abstract.** The article presents the need to develop effective innovative methods of intelligent analysis and prevention of emergency situations against the background of an increase in the number of road accidents (RA). The purpose of this study is to analyze primary data on road accidents in order to improve the efficiency of intelligent transport systems (ITS). The analysis of the initial data on road accidents was based on the relationship between the collection of the necessary information from various sources, such as statistical reports, photo and video recording cameras, geographic information systems and network analysis. The results of scientific research in the field of traffic management show that the combination of analytics of primary data on road accidents in ITS serves not only to improve safety on the street and road network, but also to effectively rank road resources associated with road accidents.

**Keywords:** road accidents, road safety, intelligent transport systems, analytics, statistical analysis, transport infrastructure

## BIBLIOGRAPHY

1. Pokazateli sostoyaniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya [Elektronnyy resurs]. Sistem trebovaniya: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://stat.gibdd.ru/>.
2. Shevtsova A.G. Matematicheskiy analiz opredelennykh pokazateley bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya v Rossiyskoy Federatsii // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta. 2021. T. 18. №6(82). S. 700-711.
3. Novikov A.N., Novikov I.A., Shevtsova A.G. Obzor peredovykh tekhnologiy v oblasti bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya // Naukoemkie tekhnologii i innovatsii: sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. CH. 5. Belgorod: Belgorodskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskiy universitet im. V.G. Shukhova. 2016. S. 139-143.
4. Shevtsova A.G., Burlutskaya A.G., Vasil'eva V.V. Vnedrenie intellektual'noy transportnoy sistemy Ramp Metering na primere g. Belgorod // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2018. №4(63). S. 42-48.
5. Makeev A.V., Lazarev S.N. Analiz sostoyaniya BDD pri vypolnenii meropriyatiy dlya dostizheniya nulevoy smertnosti // Pokolenie budushchego: Vzglyad molodykh uchenykh - 2022: sbornik nauchnykh statey 11-iy Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii. T. 4. Kursk: YUgo-Zapadnyy gosudarstvennyy universitet, 2022. S. 411-413.
6. Pugachev I.N., Shcheglov V.I. Metodologiya razrabotki i realizatsii kontseptsii bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya i programmy meropriyatiy na territorii sub"ekta (na primere Habarovskogo kraya) // Dal'niy Vostok: problemy razvitiya arkhitekturno-stroitel'nogo kompleksa. 2017. №1. S. 92-96.
7. Bulatova O.YU. Printsipy funktsionirovaniya transportnoy infrastruktury v umnykh gorodakh // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2022. №3-1(78). S. 73-78. DOI 10.33979/2073-7432-2022-1(78)-3-73-78.
8. Krivolapova O.YU. Podkhod k otsenke effektivnosti ob"ektorov sovershenstvovaniya transportnoy seti // Nauchnoe obozrenie. 2014. №11-2. S. 606-608.
9. Bulatova O.YU. Intellektual'nye transportnye sistemy. Rostov-na-Donu: Donskoy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet, 2022. 101 s.
10. Bulatova O.YU. Primenenie elementov intellektual'nykh transportnykh sistem pri organizatsii transportno-logisticheskogo obsluzhivaniya vo vremya provedeniya massovyykh gorodskikh meropriyatiy // Dorogi i mosty. 2022. №1(47). S. 294-304.
11. Kulev A.V., Novikov A.N., Kulev M.V., Kuleva N.S. Povyshenie effektivnosti funktsionirovaniya gorodskogo passazhirskogo transporta // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: materialy 2-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Orel: Orlovskiy gosudarstvennyy universitet im. I.S. Turgeneva. 2016. S. 378-382.
12. Eremin S.V., Novikov A.N., Frolenkova L.YU. [i dr.] Sovershenstvovanie dorozhnogo dvizheniya v godye Krasnoyarske na osnove intellektual'nykh transportnykh tekhnologiy // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2023. №1-1(80). S. 76-86. DOI 10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-76-86.
13. Glagolev S., Shevtsova A., Shekhovtsova S. Basis for application of new-generation antiicing materials as an efficient way to reduce the accident rate on roads in winter // Transportation Research Procedia. Vol. 36. Saint Petersburg: Elsevier B.V. 2018. P. 193-198. DOI 10.1016/j.trpro.2018.12.063.
14. Novikov A.N., Shevtsova A.G. Bezopasnoe i effektivnoe upravlenie transportnymi potokami v gorodskoy transportnoy sisteme. Moskva: Akademiya. 2022. 205 s.
15. Borovskoy A.E., Shevtsova A.G. Issledovanie stepeni nasyshcheniya peresecheniya pri uchete klassifikatsii legkoveykh avtomobiley // Avtotransportnoe predpriyatiye. 2014. №5. S. 51-53.
16. 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.
17. Semykina A., Zagorodnii N., Novikov I., Novikov A. Main directions of improving the maintenance and repair of vehicle units in the Far North // Transportation Research Procedia. St. Petersburg. 2021. P. 611-616. DOI 10.1016/j.trpro.2021.09.090.
18. Saplinova V., Novikov I., Glagolev S. Design and specifications of racing car chassis as passive safety feature // Transportation Research Procedia. Saint Petersburg. 2020. P. 591-607. DOI 10.1016/j.trpro.2020.10.071.
19. Novikov I.A., Lazarev D.A., Kudinov D.V. The estimation of friction coefficient of vehicle's blocked wheel given with contact patch of the tread with the road surface // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Vol. 10. №21. P. 42721-42724.
20. Shevtsova A.G., Novikov I.A., Borovskoy A.E. Sovremennyy podkhod k upravleniyu svetofornym ob"-ektom // Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte: materialy 2-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Orel: Orlovskiy gosudarstvennyy universitet im. I.S. Turgeneva. 2016. S. 366-370.

**Bychkova Kristina Alexandrovna**  
Belgorod State Technological University  
Address: 308012, Russia, Belgorod  
Student  
E-mail: christosh3003@gmail.com

**Podkopaev Anton Valerievich**  
Belgorod State Technological University  
Address: 308012, Russia, Belgorod  
Postgraduate student  
E-mail: palinoleum@yandex.ru

**Bulatova Olga Yurievna**  
Don State Technical University  
Address: 344002, Russia Rostov-on-Don  
Candidate of Technical Sciences  
E-mail: mip.rnd@yandex.ru

**Linnik Yuri Nikolaevich**  
State University of Management  
Address: 109542, Russia, Moscow  
Doctor of Technical Sciences  
E-mail: yn\_linnik@guu.ru

Научная статья

УДК 164

doi:10.33979/2073-7432-2024-4-3(87)-112-120

М.Ю. КАРЕЛИНА, Ю.Н. ЛИННИК, А.А. АКУЛОВ, Н.В. СОЛОВЬЕВ

## ОПТИМИЗАЦИЯ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВЫМИ ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ

**Аннотация.** В данной статье исследуются сложности сетей экспедирования грузов и их пространственное значение в связи с глобальными экономическими тенденциями. Рассматриваются технологические и экономические аспекты транспортных узлов и их влияние на распределение товаров. Обсуждается важность классификации терминалов при моделировании и ее роль в точном представлении транспортных логистических узлов. Исследуется модуль узла транспортной логистики (УТЛ), основное внимание уделяется характеристикам узла и использованию матриц происхождения-назначения (МПН) для создания модулей, включающих переменные транспорта и товаров. Предлагаются дальнейшие эмпирические исследования для сбора дополнительной информации о транспортных логистических узлах, что является ключевым аспектом для повышения точности и эффективности моделей грузовых перевозок и уточнения оценок, связанных с вмешательствами в более широкую транспортную систему.

**Ключевые слова:** логистические транспортные системы, грузовые перевозки, технологические аспекты транспортных узлов, внедрение новых информационных технологий, глобализация систем управления

### Введение

Современные бизнес-проекты стали свидетельством того, как транспортные перевозки заняли первостепенное место в организационных структурах. Логистика, которой больше не отводится вспомогательная роль, достигла паритета с такими устоявшимися подразделениями, как финансы, производство и маркетинг. Этот сдвиг можно объяснить признанием логистики как систематического процесса, включающего тщательное планирование, выполнение и контроль процедур, направленных на оптимизацию транспортировки и хранения товаров. Такая оптимизация выходит за рамки простого физического перемещения, охватывая вспомогательные услуги и информационные потоки, адаптированные к конкретным требованиям клиентов [1-4]. Таким образом, логистическая структура охватывает всю траекторию транспортировки, начиная с места производства и заканчивая конечным пунктом доставки товаров.

Неоспоримо глубокое влияние логистических структур и связанных с ними процессов принятия решений на перемещение товаров. Недавнее развитие транспортировки грузов можно объяснить слиянием многогранных экономических факторов. Глобализация с сопутствующими ей сложностями в международной торговле и управлении цепочками поставок потребовала принятия сложных логистических решений. Одновременный прогресс в области информационных технологий предоставил инструменты для отслеживания, анализа данных и обмена информацией в режиме реального времени, что обеспечивает беспрецедентный уровень эффективности и прозрачности. Кроме того, растущая потребность в экологической устойчивости привела к внедрению экологически чистых методов логистики, сводящих к минимуму воздействие транспортной деятельности на окружающую среду. Наконец, стремление к эффективности, обусловленное давлением конкуренции и необходимостью снижения затрат, способствует непрерывным инновациям в логистических процессах [5].

Как следствие, данная сфера деятельности претерпела значительные изменения. Первоначально логистика была направлена на оптимизацию отдельных функций в цепочке поставок, таких как транспортировка или складирование, но со временем стала охватывать межфункциональные виды деятельности и процессы. Этот целостный подход признает взаи-

мосвязь различных логистических элементов и направлен на оптимизацию всей системы в целом, а не отдельных компонентов. Кроме того, современная структура транспортировки делает акцент на создании ценности с помощью стратегий дифференциации, адаптации услуг к конкретным потребностям клиентов и запросам рынка. Развитие и совершенствование глобальных сетей способствовало беспрепятственному перемещению товаров через международные границы, создавая новые возможности как для бизнеса, так и для потребителей [6-8]. Это стратегическое и концептуальное усовершенствование явно повлияло на грузовые перевозки, что привело к повышению эффективности, снижению затрат и повышению уровня обслуживания.

Рисунок 1 иллюстрирует сложную природу сетей экспедирования грузов через транспортную сеть Германии, которая включает в себя все соединения между 40 логистическими узлами. Выбор сети экспедирования грузов в Германии обосновывается повышенной относительно территории Российской Федерации плотностью узлов транспортно-логистической системы, что позволяет разрабатывать превентивные модели управления системой. Слева показаны основные маршруты, а справа - схемы локального распределения. Эта визуализация подчеркивает ключевую роль, которую играют транспортно-логистические узлы в системах грузовых перевозок. Незаменимость этих узлов становится особенно очевидной при рассмотрении числовых данных, отражающих спрос на эффективное перемещение грузов. Следовательно, интеграция этих узлов имеет первостепенное значение при построении моделей спроса в данной области.

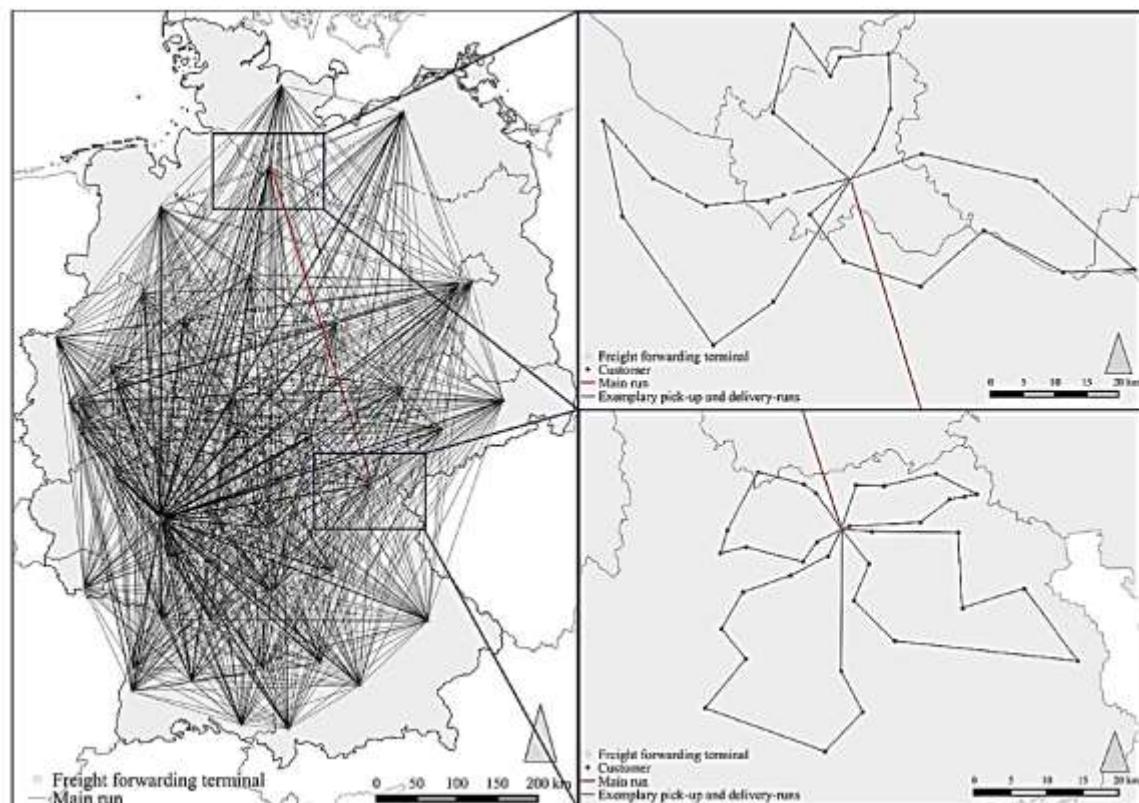


Рисунок 1 - Соединения транспортных логистических узлов экспедиторских сетей  
в магистральные и локальные маршруты

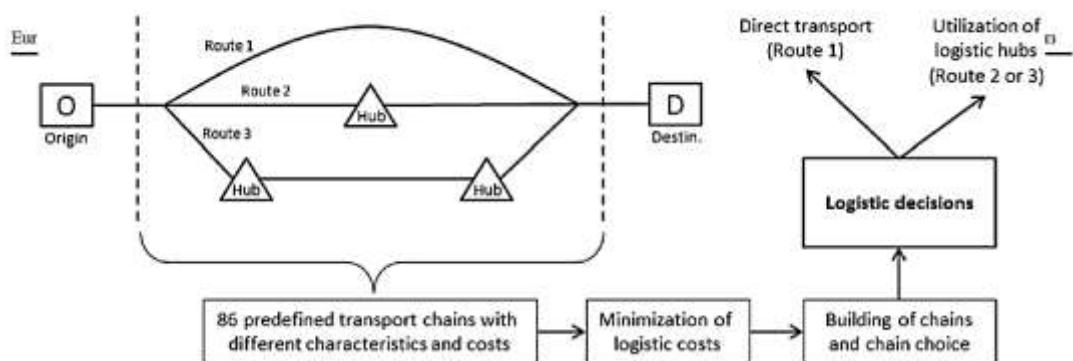
Логистические узлы традиционно обозначают точки соединения в логистических сетях, представляющие собой объекты критической инфраструктуры и узловые точки. В первую очередь предназначенные для облегчения операций по перевалке для обеспечения бесперебойного потока товаров, эти узлы выходят за рамки простых складских помещений. В данном примере они выполняют многофункциональные параметры, охватывающие про-

цессы хранения, заказа, комплектации и разделения в рамках своей операционной деятельности.

### **Материал и методы**

В области моделирования грузовых перевозок логистический модуль служит важнейшим компонентом для оптимизации перемещения товаров по сложным сетям. Данный модуль динамически настраивает параметры транспортировки для каждого сегмента определенной транспортной цепочки, используя алгоритм принятия решений для определения оптимального баланса между прямым транзитом и взаимодействием с логистическими узлами. Модель включает эти транспортно-логистические узлы в качестве операционных узлов, признавая их роль в облегчении перевалки и хранения товаров в рамках более широкой транспортной сети.

Модуль логистики работает на основе последовательных алгоритмов, адаптированных для решения сложных логистических задач. Изначально подпрограмма (BUILD\_CHAIN) объединяет оптимальные узлы перевалки в различных транспортных сегментах с учетом таких переменных, как расстояние, стоимость, время и доступность инфраструктуры. Впоследствии подпрограмма (CHAIN\_CHOICE), показанная на рисунке 2, использует выходные данные (BUILD\_CHAIN) для определения оптимальной транспортной системы из множества альтернатив. Основной целью этого процесса является минимизация логистических расходов, включая транспортные расходы, расходы на перевалку, расходы на хранение запасов и другие соответствующие факторы.



*Рисунок 2 - Интеграция логистических узлов в SAMGODS*

Эффективное моделирование грузовых перевозок требует тщательной оценки всех понесенных логистических затрат. Они включают расходы на погрузку/разгрузку в пунктах отправления и назначения, транспортные тарифы, установленные перевозчиком, и складские сборы, начисляемые при хранении и обработке товаров. Важно отметить, что модель должна учитывать затраты, связанные с использованием транспортных и логистических узлов, таких как грузовые терминалы, порты, интэрмодальные объекты и аэропорты, которые служат ключевыми элементами, расширяющими сетевую связность [9, 10]. Стоимость использования транспортных узлов зависит от веса груза и типа транспортного средства.

Для уточнения оценок затрат в модель интегрированы соответствующие данные, касающиеся характеристик отдельных терминалов. Это предполагает оценку доступности мультимодальных перевозок и инфраструктуры для бесперебойной перевозки различными видами транспорта, включая автомобильные, железнодорожные и морские маршруты. Географическое положение также существенно влияет на транспортную доступность и охват рынка. Модель оценивает возможности каждого терминала по обработке грузов и их транспортировке с учетом их квалификации в области перевалки. Кроме того, в нем используется система классификации терминалов, учитывающая, что эксплуатационные расходы могут колебаться в зависимости от различий в размерах терминалов или сложности технологической инфраструктуры. Терминалы классифицируются на основе технологического коэффи-

циента в диапазоне от нуля до единицы, причем более высокие коэффициенты указывают на более высокую технологическую сложность.

Логистические центры, в частности распределительные центры, играют ключевую роль в более широкой системе грузовых перевозок. Являясь стратегическими центрами для управления запасами, обработки заказов и консолидации товаров, эти объекты упрощают оценку атрибутов узлов и характеристик продукции, облегчая выполнение задач. Например, 542 варианта продукции сгруппированы в 50 логистических категорий на основе общих атрибутов, таких как стоимость, плотность упаковки, скропортизация, время выполнения заказа и объем партии. Эти характеристики влияют на эффективность и технологические требования к конкретным классификациям продуктов, определяя оптимальные методы хранения, переработки и транспортировки. Транспортные узлы оказывают значительное влияние на цепочки распределения и транспортные потоки. Их стратегическое расположение и оперативность повышают эффективность обработки, оптимизируют управление запасами и максимально увеличивают плотность упаковки для экономии места.

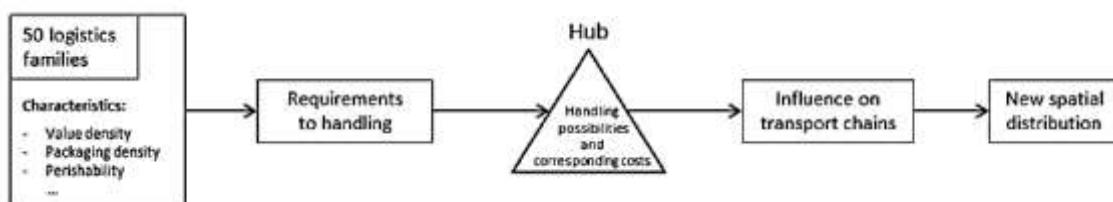


Рисунок 3 - Концентраторы в SMILE

Модуль одновременной локализации и картографирования (SLAM), размещенный в определенных модулях, известен своим маневрированием, характеризующимся заметной проницательностью, обозначаемой как SMILE (рис. 3). SLAM тщательно спроектирован с учетом динамичных последствий изменений в правовой системе и системе транзита. Следовательно, основным требованием данного модуля является тщательная идентификация и оптимизация местоположений распределительных центров. В этом случае SLAM проявляется как точный инструмент, описывающий тонкости транспортного потока в соответствии с логическими принципами. Модель качественно учитывает изменения в структуре распределения, охватывая такие переменные, как количество и пространственное расположение промежуточных складов, используемых в процессах распределения, и легко интегрирует эти корректировки в глобальные потоки распределения.

Анализ и оптимизация путей распределения в рамках сетей грузовых перевозок требуют интеграции данных в режиме реального времени и построения матриц происхождения и назначения (OD). Центральный процессор служит ядром данной аналитической системы, непрерывно объединяя данные, относящиеся к производству и потреблению в определенных географических регионах. Этот поток данных в режиме реального времени включает в себя информацию об объемах производства, структуре потребления, уровнях запасов и других соответствующих переменных. Затем агрегированные данные используются для создания сложных матриц товародвижения, которые обеспечивают количественное представление потока товаров между различными пунктами происхождения и назначения. Эти матрицы служат основой для последующего анализа путей распределения, позволяя определить оптимальные маршруты и оценить эффективность работы сети.

Сама распределительная цепочка состоит из ряда взаимосвязанных узлов и звеньев. Распределительные центры функционируют как ключевые узлы в этой сети, служа точками консолидации, хранения и перераспределения товаров. Транспортные каналы, охватывающие различные виды транспорта, такие как автомобильный, железнодорожный, водный и воздушный, образуют звенья, которые соединяют эти узлы и облегчают перемещение товаров между ними. Модель включает в себя эти элементы для всестороннего анализа различных путей сбыта с учетом местоположения и мощности производственных центров, возможностей промежуточных предприятий по распределению и переработке, а также географического распределения конечных точек потребления. Такой целостный подход позволяет вы-

явить узкие места, неэффективность и возможности для оптимизации в рамках дистрибуторской сети.

Наглядное представление этой аналитической структуры, показанное на рисунке 4, иллюстрирует взаимосвязь производственных центров, объектов распределения и конечных точек потребления. Матрицы OD, наложенные на это сетевое представление, обеспечивают количественное измерение потока товаров, выделяя объем и направление перемещения между различными узлами. Такое визуальное представление облегчает понимание сложных схем распределения и поддерживает принятие решений на основе данных для повышения эффективности грузовых перевозок.

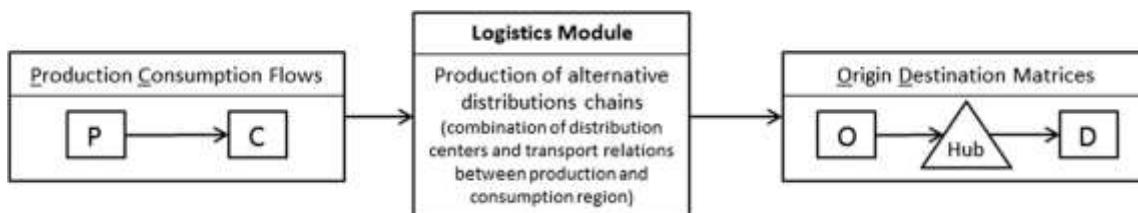


Рисунок 4 - Концентраторы в SLAM

Чтобы изучить альтернативные пути сбыта, составляется список потенциальных мест расположения центров, даются характеристики продукта, проводится оценка рынка и транспортных услуг. Впоследствии тщательно оцениваются экономическая активность каждого региона, его географическая центральность, доступность инфраструктуры и другие важные факторы, чтобы убедиться в его жизнеспособности в качестве распределительного центра. После всесторонней оценки модуль определяет оптимальные регионы для создания распределительных центров и приступает к разработке логистических сетей, охватывающих данные выделенные центры. Затраты на логистику, включающие транспортные тарифы, накладные расходы на складирование и другие сопутствующие факторы, методично рассчитываются для каждой отдельной сети [12, 13]. Данная концептуальная методология органично интегрирована в общую методологическую базу, направленную на минимизацию затрат.

SLAM, составляющий аспект структурной основы модели, играет ключевую роль. Он повышает точность определения транспортных потоков за счет плавного включения распределительных логистических узлов в более широкую глобальную транспортную систему [14, 15]. Эти узлы служат распределительными центрами, что делает традиционную систему транспортно-логистических узлов недостаточной для охвата их функциональности. Кроме того, SLAM не проводит тщательного анализа сетевого взаимодействия. Вместо этого потоки прокладывают оптимальные пути в рамках абстрактной сети распределения-потребления, руководствуясь экономической эффективностью.

### *Результаты и обсуждение*

В сочетании с основными функциями, включающими планирование маршрутов, логистику распределения и определение условий транспортировки, система анализа логистики и мобильности на транспорте (LAMTA) включает в себя вспомогательную модель, тщательно разработанную для тщательного изучения логистических узлов, не привязанных к специализированным генераторам. Называемая моделью транспортно-логистического узла (TLX), она включает в себя моделирование складов, распределительных центров и интермодальных терминалов. Однако сфера ее применения ограничена областью перевозок грузов на большие расстояния. В частности, она разграничивает потоки, возникающие между внутренними зонами в пределах LAMA (анализируемой территории) и внешними регионами. Необходимо подчеркнуть, что модель TLX не учитывает товарные потоки, ограниченные анализируемой территорией.

Следовательно, транспортно-логистические узлы на определенной территории быстро идентифицируются как ключевые узловые точки, где систематически разграничиваются сети перевозок на большие расстояния. Наглядными примерами таких узлов являются интермо-

дальние грузовые платформы, грузовые терминалы и погрузочные комплексы.

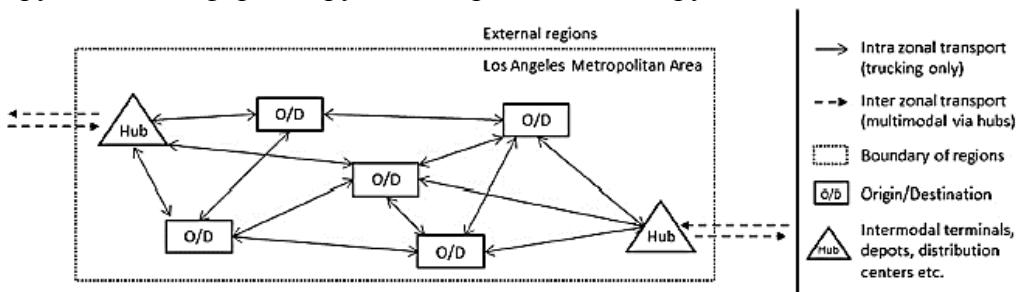


Рисунок 5 - Концентраторы в LAMTA

Транспортно-логистическая сеть представляет собой сложную систему взаимосвязанных узлов и звеньев, облегчающих перемещение товаров в различных географических масштабах. Для эффективного анализа и моделирования такой системы требуется структурированный подход, охватывающий как характеристику отдельных логистических центров, так и количественную оценку товарных потоков между ними. Система TLN удовлетворяет эту потребность, объединяя два основных компонента.

Во-первых, структура содержит исчерпывающее описание атрибутов, связанных с каждым логистическим узлом в сети. Эта характеристика включает такие факторы, как географическое положение, пропускная способность инфраструктуры, возможность подключения к различным видам транспорта, технологические возможности и спектр предлагаемых услуг. Понимание этих характеристик имеет решающее значение для оценки роли и функциональности каждого узла в рамках более широкой транспортной системы.

Во-вторых, система интегрирует данные о ОД в TLN, создавая отдельные матрицы для каждой возможной комбинации вида транспорта и категории продукции. Такая разбивка позволяет лучше понять товарные потоки, учитывая, что различные виды транспорта имеют различную структуру затрат, время в пути и воздействие на окружающую среду. Аналогичным образом, различные категории товаров могут иметь особые требования к обработке, хранению или скоропортящимся свойствам, которые влияют на их оптимальный маршрут в сети. Учитывая эти факторы, система TLN облегчает сегментацию товарных потоков на две основные категории: перевозки на дальние и короткие расстояния.

Перевозки на большие расстояния, обычно охватывающие автомобильные, железнодорожные или морские транспортировки, дополнительно дифференцируются в зависимости от направления транспортного потока, который классифицируется как входящий или исходящий из данного логистического узла. Для каждой товарной категории и направления систематически рассчитывается распределение товаров по сети логистических узлов. Этот анализ позволяет выявить основные транспортные коридоры, потенциальные узкие места и возможности для изменения вида транспорта или инвестиций в инфраструктуру. В дополнение к этому анализу, касающемуся дальних перевозок, была проведена отдельная сегментация для учета перевозок на короткие расстояния, осуществляемых преимущественно грузовыми автомобилями. Данная сегментация учитывает уникальные особенности перевозок на короткие расстояния, которые часто включают в себя меньшие размеры грузов, более частые поставки и повышенный акцент на срочности.

### Выходы

В результате научные исследования приобретают первостепенное значение для выяснения значимости транспортно-логистических узлов, включая перевалочные базы экспедиторов, в сфере грузовых перевозок. Отсутствие подходящих узлов приводит к менее сложному моделированию, влияя на такие аспекты, как товарные потоки, что приводит к неполному пониманию процессов транспортировки. Уменьшение степени детализации моделей может снизить их эффективность при объяснении транспортных потоков и логистических маршрутов. Снижение уровня детализации моделей может сделать их менее эффективными при объяснении транспортных потоков и логистических маршрутов. Поэтому при создании

или совершенствовании моделей важно включать все необходимые данные, относящиеся к транспортно-логистическим узлам. Недостаток данных затрудняет плавную интеграцию узлов. Эффективность моделей и их способность учитывать транспортно-логистические узлы зависят от наличия соответствующих данных. Эффективность моделей и их способность учитывать транспортно-логистические узлы зависят от наличия соответствующих данных. Национальные статистические агентства в основном предоставляют агрегированные данные, которые могут не включать подробную информацию об отдельных товарах, такую как их происхождение, пункт назначения, стоимость, вес, способ транспортировки и пространственные данные о транспортных логистических узлах.

Интеграции логистических узлов препятствуют определенные ограничения. Недостаток данных ограничивает потенциал многих моделей. Для всесторонней интеграции логистических узлов крайне важно иметь более исчерпывающий набор данных. Отсутствие подробных и актуальных данных остается серьезной проблемой в исследовательском сообществе, занимающемся моделированием грузовых перевозок.

Необходимы дальнейшие исследования для расширения существующей базы данных и повышения точности определения взаимосвязей. Уточнение ключевых параметров и их интеграция в систему моделирования будут способствовать более точной количественной оценке влияния, оказываемого транспортно-логистическими узлами на спрос на перевозки. Такие усилия позволяют исследователям и практикам формулировать обоснованные прогнозы относительно оценки операций в рамках экосистемы транспортной логистики.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кашина Е.Л. Уровень надежности транспортной логистической системы с учетом контроля системы ГЛОНАСС на примере исследования пассажиропотока Ярославской агломерации // История и перспективы развития транспорта на севере России. 2020. №1. С. 95-99. EDN TOVATF.
2. Горяинов А.Н., Ольхова М.В. Система транспортного обслуживания логистической системы // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2009. Т. 4. №8(40). С. 20-23. EDN TMCULF.
3. Белов Ю.Д. Использование информационных технологий в транспортных логистических системах: учеб. пособие. Н.Новгород: ФГОУ ВПО ВГАВТ, 2004. 67 с. EDN QQGOIT.
4. Федотов А.Б., Астафьев И.В. Методика рационального распределения материальных средств при планировании логистических процессов системы дальневосточной транспортной сети // Стратегическая стабильность. 2023. №4(105). С. 20-27. EDN HYZQWC.
5. Маннонов Ж.А., Имомназаров С.К., Купайсинов Д.Х.у., Жамилов Б.М.у. Технологические процессы функционирования производственно-транспортной системы и вопросы их логистического управления // Universum: технические науки. 2022. №6-3(99). С. 43-47. EDN FLWDHD.
6. Попов А.А., Эмомалиев М.Р., Гафуров А.Г. Проектирование транспортной логистической системы «tracex» // Оригинальные исследования. 2019. Т. 9. №2. С. 27-37. EDN PPJOER.
7. Рожко О.Н., Яковлев Р.А. Инновационные аспекты управления транспортными логистическими системами // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2015. Т. 71. №2. С. 149-158. EDN VJMGBP.
8. Понорец О., Закомирный А. Цифровые платформы на рынке грузовой логистики: выживают ли традиционные операторы? // Логистика. 2017. №8(129). С. 32-35. EDN ZEOQBJ.
9. Глемба К.В., Альметова З.В. Оптимизация объемов партий поставок грузов и параметров работы погрузочно-разгрузочных комплексов транзитных терминалов в межтерминальных сообщениях // АПК России. 2015. Т. 73. С. 82-89. EDN ULFOEOF.
10. Шепелев В.Д., Акатьев Т.А., Аношина М.В., Долгушина Н.Ю. Разработка цифровой платформы по интеллектуальному поиску грузового транспорта в крупных городах // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. 2018. Т. 12. №4. С. 188-197. DOI 10.14529/180422. EDN YRJMLR.
11. Некрасов А.Г., Синицына А.С., Резера С.М. Сетецентризм и цифровизация интегрированных транспортно-логистических систем: Монография. Москва: Ай Пи Ар Медиа, 2022. 279 с. EDN KHPJAY.
12. Загороднюк Л.Х. Логистика и трансфер инновационных технологий: Учебное пособие. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2018. 309 с. EDN UXFKTW.
13. Колесников М.В. Управление экономическим обеспечением транспортных предприятий: региональный аспект: Учебное пособие. Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2023. 124 с. EDN GAUEHS.
14. Ганиева Н.М. Логистика производственных процессов: Учебное пособие. Омск: ФГБОУ ВПО «Омский государственный лесотехнический университет», 2020. 224 с. EDN GANHNS.

ский государственный технический университет», 2012. 248 с. EDN UXHGW.B.

15. Карх Д.А., Лазарев В.А., Якушев Д.С. Управление и методика планирования товарно-транспортных потоков в локальных розничных сетях. Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, 2016. 199 с. EDN WBQIHP.

**Карелина Мария Юрьевна**

Государственный университет управления,

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

Адрес: 109542, Россия, г. Москва, Рязанский пр-кт, д. 99,

125319, Россия, г. Москва, Ленинградский пр-кт, д. 64

Д.т.н., д.п.н., проф., проректор, заведующий кафедрой «Детали машин и теория механизмов»

E-mail: karelina@.mail.ru

**Линник Юрий Николаевич**

Государственный университет управления,

Адрес: 109542, Россия, г. Москва, Рязанский пр-кт, д. 99

Д.т.н., проф. каф. экономики и управления в топливно-энергетическом комплексе

E-mail: yn\_linnik@.guu.ru

**Акулов Алексей Андреевич**

Государственный университет управления,

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

Адрес: 109542, Россия, г. Москва, Рязанский пр-кт, д. 99,

125319, Россия, г. Москва, Ленинградский пр-кт, д. 64

К.т.н., научный сотрудник Научно-исследовательского института, преподаватель кафедры «Детали машин и теория механизмов»

E-mail: a.akulov.98@mail.ru

**Соловьев Николай Владимирович**

Государственный университет управления,

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

Адрес: 109542, Россия, г. Москва, Рязанский пр-кт, д. 99,

125319, Россия, г. Москва, Ленинградский пр-кт, д. 64

Младший научный сотрудник, соискатель

E-mail: n.soloviov@merkatorkaluga.ru

M.Y. KARELINA, Y.N. LINNIK, A.A. AKULOV, N.V. SOLOVIEV

**OPTIMISATION OF LOGISTIC MODEL  
OF FREIGHT TRANSPORT BY CARGO VEHICLES**

*Abstract. This article explores the complexities of freight forwarding networks and their spatial significance in relation to global economic trends. The technological and economic aspects of transport hubs and their impact on the distribution of goods are discussed. The importance of terminal classification in modelling and its role in accurately representing transport logistics nodes is discussed. The transport logistics node (TLN) module is investigated, focusing on node characteristics and the use of origin-destination (OD) matrices to create modules incorporating transport and goods variables. Further empirical research is proposed to gather additional information on transport logistics nodes, which is a key aspect to improve the accuracy and efficiency of freight transport models and refine estimates associated with interventions in the wider transport system.*

*Keywords:* logistics transport systems, freight traffic, technological aspects of transport hubs, introduction of new information technologies, globalisation of management systems

**BIBLIOGRAPHY**

1. Kashina E.L. Uroven` nadezhnosti transportnoy logisticheskoy sistemy s uchetom kontrolya sistemy GLONASS na primere issledovaniya passazhiropotoka YAroslavskoy aglomeratsii // Istoryya i perspektivy razvitiya transporta na severu Rossii. 2020. №1. S. 95-99. EDN TOVATF.
2. Goryainov A.N., Ol'khova M.V. Sistema transportnogo obsluzhivaniya logisticheskoy sistemy // Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovyykh tekhnologiy. 2009. T. 4. №8(40). S. 20-23. EDN TMCULF.
3. Belov YU.D. Ispol`zovanie informatsionnykh tekhnologiy v transportnykh logisticheskikh sistemakh: ucheb. posobie. N.Novgorod: FGOU VPO VGAVT, 2004. 67 s. EDN QQGOIT.
4. Fedotov A.B., Astaf'ev I.V. Metodika ratsional'nogo raspredeleniya material`nykh sredstv pri planirovaniyu logisticheskikh protsessov sistemy dal`nevostochnoy transportnoy seti // Strategicheskaya stabil`nost'. 2023. №4(105). S. 20-27. EDN HYZQWC.

5. Mannonov ZH.A., Imomnazarov S.K., Kupaysinov D.H.u., ZHamilov B.M.u. Tekhnologicheskie protsessy funktsionirovaniya proizvodstvenno-transportnoy sistemy i voprosy ikh logisticheskogo upravleniya // Universum: tekhnicheskie nauki. 2022. №6-3(99). S. 43-47. EDN FLWDHD.
6. Popov A.A., Emomaliev M.R., Gafurov A.G. Proektirovanie transportnoy logisticheskoy sistemy «tracex» // Original`nye issledovaniya. 2019. T. 9. №2. S. 27-37. EDN PPJOER.
7. Rozhko O.N., YAkovlev R.A. Innovatsionnye aspekty upravleniya transportnymi logisticheskimi sistemami // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. A.N. Tupoleva. 2015. T. 71. №2. S. 149-158. EDN VJMGBP.
8. Ponorets O., Zakomirnyy A. Tsifrovye platformy na rynke gruzovoy logistiki: vyzhivut li traditsionnye operatory? // Logistika. 2017. №8(129). S. 32-35. EDN ZEOQBJ.
9. Glemba K.V., Al`metova Z.V. Optimizatsiya ob"emov partiy postavok gruzov i parametrov raboty pogruzochno-razgruzochnykh kompleksov tranzitnykh terminalov v mezhterinal`nykh soobshcheniyakh // APK Rossii. 2015. T. 73. S. 82-89. EDN ULFOEOF.
10. Shepelev V.D., Akat`ev T.A., Anoshina M.V., Dolgushina N.YU. Razrabotka tsifrovoy platformy po intellektual`nomu poisku gruzovogo transporta v krupnykh gorodakh // Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika i menedzhment. 2018. T. 12. №4. S. 188-197. DOI 10.14529/180422. EDN YRJMLR.
11. Nekrasov A.G., Sinitsyna A.S., Rezera S.M. Setetsentrizm i tsifrovizatsiya integrirovannykh transportno-logisticheskikh sistem: Monografiya. Moskva: Ay Pi Ar Media, 2022. 279 s. EDN KHPJAY.
12. Zagorodnyuk L.H. Logistika i transfer innovatsionnykh tekhnologiy: Uchebnoe posobie. Belgorod: Belgorodskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskiy universitet im. V.G. Shukhova, 2018. 309 s. EDN UXFKTW.
13. Kolesnikov M.V. Upravlenie ekonomiceskim obespecheniem transportnykh predpriyatiy: regional`nyy aspekt: Uchebnoe posobie. Rostov-na-Donu: Rostovskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya, 2023. 124 s. EDN GAUEHS.
14. Ganieva N.M. Logistika proizvodstvennykh protsessov: Uchebnoe posobie. Omsk: FGBOU VPO «Omskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet», 2012. 248 s. EDN UXHGWB.
15. Karkh D.A., Lazarev V.A., YAkushev D.S. Upravlenie i metodika planirovaniya tovorno-transportnykh potokov v lokal`nykh roznichnykh setyakh. Ekaterinburg: Ural'skiy gosudarstvennyy ekonomiceskiy universitet, 2016. 199 s. EDN WBQIHP.

**Maria Yuryevna Karelina**

State University of Management,  
Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI)  
Address: 109542, Russia, Moscow, Ryazansky pr., 99,  
125319, Russia, Moscow, Leningradskiy pr., 64  
Doctor of Technical Sciences, Doctor of Pedagogical Sciences  
E-mail: karelina@.mail.ru

**Linnik Yuri Nikolaevich**

State University of Management,  
Address: 109542, Russia, Moscow, Ryazansky pr., 99  
Doctor of Technical Sciences  
E-mail: yn\_linnik@guu.ru

**Akulov Alexey Andreyevich**

State University of Management,  
Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI)  
Address: 109542, Russia, Moscow, Ryazansky pr., 99,  
125319, Russia, Moscow, Leningradskiy pr., 64  
Candidate of Technical Sciences  
E-mail: a.akulov.98@mail.ru

**Soloviev Nikolay Vladimirovich**

State University of Management,  
Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI)  
Address: 109542, Russia, Moscow, Ryazansky pr., 99,  
125319, Russia, Moscow, Leningradskiy pr., 64  
Junior Researcher, co-researcher  
E-mail: n.soloviov@merkatorkaluga.ru

Научная статья

УДК 656.13

doi:10.33979/2073-7432-2024-4-3(87)-121-126

В. ЯДУН, В. ЦЗИНВЭНЬ, В.В. ЗЫРЯНОВ, В.Ю. ЛИННИК

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ НА УРОВЕНЬ ВЫБРОСОВ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

**Аннотация.** В работе рассматривается взаимосвязь между городской застройкой и выбросами углекислого газа автомобильным транспортом. Разработана модель GWR, учитывающая пространственную неоднородность и влияние застройки на выбросы углекислого газа при движении автомобилей. Исследования проводились на базе города Цзинань – столицы провинции Шаньдун. Выбраны пять районов, которые образуют ядро города Цзинань. Исследование показало, что модель GWR имеет высокую степень соответствия и в ней отсутствует множественная коллинеарность.

**Ключевые слова:** выбросы автомобильного транспорта, городская застройка, географическая взвешенная регрессионная модель, плотность населения

### Введение

Уровень автомобилизации Китая растет с каждым годом. Следовательно, увеличивается количество выбросов углекислого газа на транспорте. В данной статье проведено исследование влияния городской застройки на выбросы углекислого газа при дорожном движении путем выбора пространственных единиц, анализа данных о плавающих транспортных средствах и обработки информации. Построение модели воздействия анализируется с использованием метода географической взвешенной регрессии GWR, который играет важную роль в оптимизации структуры поездок, сокращении использования автотранспорта и продвижении поездок для жителей с применением альтернативных видов топлива.

### Материал и методы

В последние годы фокус исследований транспортных выбросов постепенно переместился с макроуровня национального энергопотребления на микроуровень городской застройки территорий. Основные элементы застроенной среды охватывают множество аспектов, таких как плотность населения, топологические характеристики дорожной сети, разнообразие и удобство транспортировки. Конкретные показатели оценки включают плотность населения, сочетание видов землепользования, плотность дорожной сети, плотность размещения автобусных станций, расстояние от автобусной станции, расстояние до центра города, плотность жилых районов и плотность распределения станций метро.

Исследования, проведенные Модарресом и другими учеными, показали, что жители районов с высокой плотностью населения в Лос-Анджелесе в США выполняют меньший объем пригородных перевозок [1]. Исследования, проведенные Барла и другими учеными, показали, что в Квебеке (Канада), транспортные выбросы в пригородах городов с более низкой плотностью населения на 27% выше, чем в центральных районах городов с более высокой плотностью населения [2]. Шим и соавторы отметили, что увеличение численности городского населения, плотности населения и плотности дорожной сети оказывает негативное влияние на выбросы от городского транспорта [3]. Ву Синь и другие исследователи использовали данные по столичному району Миннеаполис-Сент-Пол для изучения взаимосвязи между застроенной средой и транспортными выбросами и обнаружили, что расстояние между остановочными пунктами общественного транспорта, плотность застройки и разнообразие землепользования оказывают значительное влияние на транспортные выбросы [4]. Исследование, проведенное Дингом и соавторами в районе Вашингтона, США, показало, что степень воздействия транспорта на уровень выбросов промышленных районах значительно выше, чем в районах с жилой застройкой [5]. Чжу В. и другие исследователи обнаружили, что существует нелинейная взаимосвязь между застроенной средой и выбросами от дорожного движения. Взаимосвязь действий существует не всегда, а играет значительную роль только в определенных пределах [6]. Значительные исследования по оценке влияния выбросов автомобилей на состояние окружающей среды в городах также проведены в Китае и России [7-12].

Прежде всего, принимая во внимание основные принципы воздействия городской застройки на выбросы от дорожного движения, проведен детальный анализ факторов, влияющих на уровень выбросов, определена взаимосвязь между особенностями застройки и выбросами. На основе этих данных также определено влияние пространственной неоднородности на выбросы на городских территориях. Это позволило определить теоретические методы для последующих углубленных исследований. Впоследствии, для более точного анализа выбросов в результате дорожного движения, была предложена система анализа выбросов в результате дорожного движения, основанная на данных GPS и модели географической взвешенной регрессии (GWR) [13].

На основе данных GPS о параметрах движения автомобилей проведен расчет транспортных выбросов и изучены характеристики пространственного распределения. Данные GPS не только обеспечивают информационную поддержку для точного расчета выбросов загрязняющих веществ, но и являются достоверным источником данных для анализа пространственно-временного распределения выбросов [14-18]. В сочетании с программным обеспечением ArcGIS можно реализовать пространственную визуализацию выбросов от дорожного движения, а затем получить конкретное пространственное распределение выбросов в исследуемой области, чтобы точно определить области с наибольшими выбросами.

С помощью сочетания пространственного статистического анализа ArcGIS и методов математической статистики определена корреляция между выбросами от дорожного движения и экологическими показателями городской застройки. В то же время, с помощью метода корреляционного анализа будут проверены возможные множественные коллинеарные связи между переменными, чтобы изначально определить ключевые показатели среды. Построена модель GWR для изучения возможного влияния пространственной неоднородности городской застройки на выбросы от дорожного движения в различных местах, чтобы количественно оценить степень влияния показателей застроенной среды на выбросы от дорожного движения.

### **Расчет**

В результате исследований построена модель влияния городской застройки на выбросы углекислого газа автомобильным транспортом. Пространственная неоднородность, как основное понятие в географии, в основном описывает уникальность и различия вещей и явлений между различными регионами. В модели эмпирического исследования эта неоднородность конкретно проявляется в виде пространственной изменчивости переменных, параметров и дисперсии погрешностей, то есть эти показатели не являются постоянными, но будут демонстрировать соответствующие различия с изменениями в географическом пространстве. Эта особенность предоставляет исследователям важную перспективу и инструмент для изучения внутренних законов и взаимосвязей между различными пространственными областями. В общем виде эта зависимость имеет следующий вид:

$$y_i = x_i \beta_i + \varepsilon_i, \quad (1)$$

где  $x_i$  – независимая переменная,

$y_i$  – зависимая переменная,

$\beta_i$  – вектор параметров,

$\varepsilon_i$  – случайная ошибка.

Данная формула говорит о том, что в разных областях независимая переменная  $x_i$  зависимая переменная  $y_i$ , вектор параметров  $\beta_i$  и случайная ошибка  $\varepsilon_i$  имеют разные функциональные зависимости. Как концепция относительности, пространственная неоднородность не фиксирована по степени, но тесно связана с пространственным масштабом исследования. В частности, изменения в пространственном масштабе непосредственно влияют на степень и значимость неоднородности, что приведет к переоценке присущих ей характеристик. Первоначально эта концепция широко использовалась в экологических исследованиях, а затем постепенно распространялась на многие дисциплины, такие как география, экономика и даже социология, и показала свою важность и широкое прикладное значение в исследованиях в этих областях.

Географическая взвешенная регрессионная модель (GWR), интегрируя характеристи-

ки пространственной структуры в систему линейной регрессии стремится выявить неустойчивость взаимосвязи между пространственными данными, то есть пространственную неоднородность. Благодаря уникальному пространственному распределению модель GWR позволяет проводить более точный и детальный анализ данных в различных географических точках, что, в свою очередь, обеспечивает надежную статистическую поддержку для понимания пространственных явлений. Поэтому в этом разделе выбрана модель GWR для анализа влияния застроенной среды на уровень функционирования транспортной системы.

Общая форма модели GWR выглядит следующим образом

$$y = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_{k=1}^p \beta_{ik} (u_i, v_i) x_{ik} + \varepsilon_i, \quad (2)$$

где  $y$  – зависимая переменная;

$x_k$  – независимая переменная;

$u_i, v_i$  – фактор географического положения точки выборки  $i$ ;

$\beta_{ik}(u_i, v_i)$  –  $k$ -й параметр регрессии для точки выборки  $i$ , зависит от географического положения;

$k$  – число независимых переменных

$\varepsilon_i$  – случайная ошибка.

$i$  – точка отбора,  $i=1, 2, \dots, n$

Формула может быть упрощена до вида:

$$y = \beta_{i0} + \sum_{k=1}^p \beta_{ik} x_{ik} + \varepsilon_i, \quad (3)$$

тогда  $\beta_{1k} = \beta_{2k} = \dots = \beta_{nk}$ , модель GWR преобразуется в модель линейной регрессии.

Функция затухания в модели GWR рассчитывается следующим образом:

$$\hat{\beta}(u_i, v_i) = (X^T W(u_i, v_i) X)^{-1} X^T W(u_i, v_i). \quad (4)$$

В формуле  $W(u_i, v_i)$  является пространственной весовой матрицей.

Матрица пространственных весов занимает важное место в изучении пространственной неоднородности. Суть его построения заключается в выборе пространственных весовых функций. Различные формы функций непосредственно определяют выражение взаимосвязи между пространственными единицами, что, в свою очередь, влияет на конечный результат представления матрицы пространственных весов. Эта матрица не только отражает интенсивность взаимодействия между пространственными единицами, но и является ключевым инструментом для понимания и объяснения пространственной неоднородности. Расчет весовой матрицы производится в следующем виде:

$$W_{ij} = \begin{bmatrix} w_{11} w_{12} \cdots w_{1n} \\ w_{21} w_{22} \cdots w_{2n} \\ \dots \\ w_{n1} w_{n2} \cdots w_{nn} \end{bmatrix}. \quad (5)$$

При построении модели географической взвешенной регрессии (GWR) особенно важен выбор весовых функций, которые в основном делятся на две категории: функции с фиксированным весом и адаптивные весовые функции. Функция фиксированного веса, как следует из названия, означает, что значение ее веса остается постоянным на всей территории исследования и не зависит от изменений пространственного положения. Условно говоря, адаптивная весовая функция обладает большей гибкостью. Она может быть адаптивно скорректирована в соответствии с плотностью распределения точек данных вокруг точки регрессии для более точного отражения изменений веса в различных пространственных местоположениях. В практических приложениях функция Гаусса и функция двойного квадрата обычно используются в качестве весовых функций, и они широко используются исследователями из-за возможности определения статистических характеристик и применимости. Выражение функции Гаусса показано в формуле:

$$w_{ij} = e^{[-(d_{ij}/b)^2]} \quad (6)$$

где  $b$  – пропускная способность;

$d_{ij}$  – расстояние между точками выборки  $i$  и  $j$ .

Исследования проводились на базе города Цзинань – столицы провинции Шаньдун, расположенного в центральной и западной части провинции Шаньдун. Он состоит из 10 районов и 2 уездов. Выбраны пять районов, которые образуют ядро города Цзинань. Каждый район имеет свою уникальную культуру и ландшафт, которые привлекают множество туристов и местных жителей. Процесс географического определения объекта исследования показан на рисунке 1.



Рисунок 1 – Выбор пяти центральных районов в городе Цзинань как зоны основного исследования

Выбранная географическая область, которая включает в себя пять основных районов города Цзинань, послужит основой для дальнейшего моделирования.

#### Результаты и обсуждение

Результаты моделирования выбросов от дорожного движения с пространственной визуализацией представлены на рисунке 2 с помощью ArcGIS. Области с наибольшими выбросами отображены бордовым цветом.

Анализ пространственной неоднородности проведен по основному фактору – плотности населения.

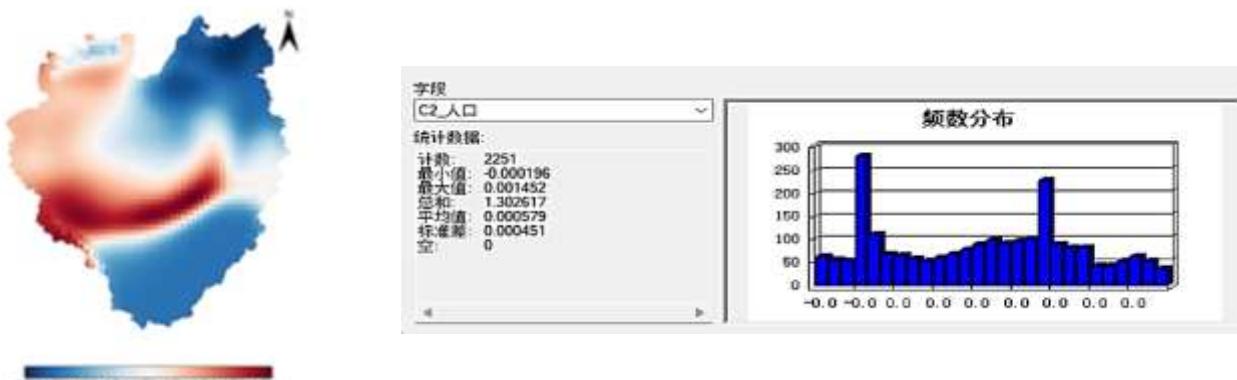


Рисунок 2 – График зависимости плотности населения от коэффициента регрессии

Из коэффициента регрессии плотности населения видно, что чем больше плотность населения в красной зоне, тем больше выбросы углекислого газа в результате дорожного движения, а чем больше плотность населения в синей зоне, тем меньше выбросы углекислого газа в результате дорожного движения. И согласно абсолютному значению коэффициента регрессии, при максимальном значении красной области плотность населения оказывает большее влияние на выбросы углекислого газа в дорожном движении и более значительное воздействие.

#### Выводы

При анализе и обобщении научных публикаций по теме исследований установлено, что взаимосвязь между городской застройкой и выбросами углекислого газа транспортом не учитывает пространственную неоднородность.

Предложены показатели для различных элементов застроенной среды, включая плотность населения, структуру землепользования, плотность дорожной сети, расстояние до центра города и плотность автобусных остановок, а также рассчитаны выбросы углекислого газа при транспортном движении на основе расстояния и скорости в данных о траектории движения транспортных средств.

Разработана модель GWR, учитывающая пространственную неоднородность и влияние застройки на выбросы углекислого газа при движении транспорта. Исследование показало, что модель GWR имеет высокую степень соответствия и в ней отсутствует множественная коллинеарность. Переменные природной среды в большей степени влияют на выбросы

углекислого газа при транспортировке. Влияние застройки в различных местах на выбросы проявляется в различных стимулирующих или сдерживающих эффектах.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Modarres A. Commuting and energy consumption: Toward an equitable transportation policy // Journal of Transport Geography. 2013. 33(dec.). 240-249.
2. Barla P., Miranda-Moreno L.F., Lee-Gosselin M. Urban travel CO<sub>2</sub> emissions and land use: A case study for Quebec City // Transportation Research. Part D: Transport and Environment. 2011. 16(6). 423-428.
3. Shim G.E., Rhee S.M., Ahn K.H. et al. The relationship between the characteristics of transportation energy consumption and urban form // Annals of Regional Science. 2006. 40(2). 351-367.
4. Wu X., Tao T., Cao J. et al. Examining threshold effects of built environment elements on travel-related carbon-dioxide emissions // Transportation Research. 2019. 75(Oct.). 1-12.
5. Ding C., Wang Y., Xie B. et al. Understanding the Role of Built Environment in Reducing Vehicle Miles Traveled Accounting for Spatial Heterogeneity // Sustainability. 2014. 6(2). 589-601.
6. Zhu W., Ding C., Cao X.. Built environment effects on fuel consumption of driving to work: Insights from on-board diagnostics data of personal vehicles // Transportation Research. 2019. 67(FEB.). 565-575.
7. Jin Y., Andersson H., Zhang S. Air Pollution Control Policies in China: A Retrospective and Prospects // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2016. 13. 1219.
8. Dong Y., Xu J., Liu X., Gao C., Ru H., Duan Z. Carbon Emissions and Expressway Traffic Flow Patterns in China // Sustainability. 2019. 11. 2824.
9. Zhang Y., Zhou R., Peng S., Mao H., Yang Z., Andre M., Zhang X. Development of Vehicle Emission Model Based on Real-Road Test and Driving Conditions in Tianjin // China. Atmosphere. 2022. 13. 595.
10. Zhang S. Wu Y. Liu H. et al. Real-world fuel consumption and CO<sub>2</sub> (carbon dioxide) emissions by driving conditions for light-duty passenger vehicles in China // Energy. 2014. 69. 247-257.
11. Трофименко Ю.В., Карев С.В. Экологическая политика в дорожной отрасли до 2035 г.: целевые ориентиры и пути их достижения // Наука и техника в дорожной отрасли. 2021. №2(96). С. 1-6.
12. Трофименко Ю.В., Комков В.И. Актуализированный прогноз численности, структуры автомобильного парка России по типу энергоустановок и выбросов парниковых газов до 2050 года // Вестник СибАДИ. Т. 20. №3. 2023. С. 350-361.
13. Fotheringham A.S., Brunsdon C., Charrlton M. Geographically weighted regression the analysis of spatially varying relationships. New York: Wiley.
14. Liu Ch., Zyryanov V., Topilin I., Feofilova A., Shao M. Investigating the impacts of autonomous vehicles on the efficiency of road network and traffic demand: a case study of Qingdao, China // Sensors. 2024. Т. 24. №16. С. 5110.
15. Joumard R., André M., Vidon R., et al. Influence of driving cycles on unit emissions from passenger cars // Atmospheric Environment. 2000. 34(27). 4621-4628.
16. Ryu B.Y., Jung H.J., Bae S.H. Development of a corrected average speed model for calculating carbon dioxide emissions per link unit on urban roads // Transportation Research. Part D: Transport and Environment. 34. Р. 245-254.
17. Новиков А.Н., Шевцова А.Г. Безопасное и эффективное управление транспортными потоками в городской транспортной системе. Москва: Академия, 2022. 205 с.
18. Домбалиян А.В., Шаталова Е.Е. Разработка мероприятий по организации дорожного движения в городах с учетом экологических параметров // Мир транспорта и технологических машин. 2022. №3-3(78). С. 105-109.

### **Ван Ядун**

Донской государственный технический университет  
Адрес: 344002, Россия, Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162  
Аспирант  
E-mail: 57991672@qq.com

### **Ван Цзинвэнь**

Шаньдунский транспортный университет  
Адрес: 5001, Китай, Цзинань, Хайтанг Роуд  
Старший преподаватель  
E-mail: 1161710683@qq.com

### **Зырянов Владимир Васильевич**

Донской государственный технический университет  
Адрес: 344003, Россия, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1  
Д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Организация перевозок и дорожного движения»  
E-mail: tolbag@ mail.ru

### **Линник Владимир Юрьевич**

Государственный университет управления  
Адрес: 109542, Россия, г. Москва, Рязанский проспект, 99  
Д.э.н., доцент, профессор кафедры экономики и управления в топливно-энергетическом комплексе  
Государственного университета управления  
E-mail: y\_linnik@guu.ru

## ROAD TRANSPORT IN URBAN CONDITIONS EMISSIONS ASSESSMENT

**Abstract.** The paper examines the influence of various factors on carbon dioxide emissions from road transport. A GWR model has been developed that takes into account spatial heterogeneity and the impact of development on carbon dioxide emissions when driving cars. The research was conducted on the basis of Jinan city, the capital of Shandong Province. Five districts have been selected, which form the core of Jinan City. The study showed that the GWR model has a high degree of compliance and there is no multiple collinearity in it.

**Keywords:** emissions from motor transport, urban development, geographically weighted regression model, population density

### BIBLIOGRAPHY

1. Modarres A. Commuting and energy consumption: Toward an equitable transportation policy // Journal of Transport Geography. 2013. 33(dec.). 240-249.
2. Barla P., Miranda-Moreno L.F., Lee-Gosselin M. Urban travel CO<sub>2</sub> emissions and land use: A case study for Quebec City // Transportation Research. Part D: Transport and Environment. 2011. 16(6). 423-428.
3. Shim G.E., Rhee S.M., Ahn K.H. et al. The relationship between the characteristics of transportation energy consumption and urban form // Annals of Regional Science. 2006. 40(2). 351-367.
4. Wu X., Tao T., Cao J. et al. Examining threshold effects of built environment elements on travelrelated carbon-dioxide emissions // Transportation Research. 2019. 75(Oct.). 1-12.
5. Ding C., Wang Y., Xie B. et al. Understanding the Role of Built Environment in Reducing Vehicle Miles Traveled Accounting for Spatial Heterogeneity // Sustainability. 2014. 6(2). 589-601.
6. Zhu W., Ding C., Cao X.. Built environment effects on fuel consumption of driving to work: Insights from on-board diagnostics data of personal vehicles // Transportation Research. 2019. 67(FEB.). 565-575.
7. Jin Y., Andersson H., Zhang S. Air Pollution Control Policies in China: A Retrospective and Prospects // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2016. 13. 1219.
8. Dong Y., Xu J., Liu X., Gao C., Ru H., Duan Z. Carbon Emissions and Expressway Traf?c Flow Patterns in China // Sustainability. 2019. 11. 2824.
9. Zhang Y., Zhou R., Peng S., Mao H., Yang Z., Andre M., Zhang X. Development of Vehicle Emission Model Based onReal-Road Test and Driving Conditions in Tianjin // China. Atmosphere. 2022. 13. 595.
10. Zhang S. Wu Y. Liu H. et al. Real-world fuel consumption and CO<sub>2</sub> (carbon dioxide) emissions by driving conditions for light-duty passenger vehicles in China // Energy. 2014. 69. 247-257.
11. Trofimenco YU.V., Karev S.V. Ekologicheskaya politika v dorozhnoy otrassli do 2035 g.: tselevye orientiry i puti ikh dostizheniya // Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrassli. 2021. №2(96). S. 1-6.
12. Trofimenco YU.V., Komkov V.I. Aktualizirovannyy prognoz chislennosti, struktury avtomobil`nogo parka Rossii po tipu energoustanovok i vybrosov parnikovykh gazov do 2050 goda // Vestnik SibADI. T. 20. №3. 2023. S. 350-361.
13. Fotheringham A.S., Brunsdon C., Charrlton M. Geographically weighted regression the analysis of spatially varying relationships. New York: Wiley.
14. Liu Ch., Zyryanov V., Topilin I., Feofilova A., Shao M. Investigating the impacts of autonomous vehicles on the efficiency of road network and traffic demand: a case study of Qingdao, China // Sensors. 2024. T. 24. №16. S. 5110.
15. Joumard R., Andr? M., Vidon R., et al. Influence of driving cycles on unit emissions from passenger cars // Atmospheric Environment. 2000. 34(27). 4621-4628.
16. Ryu B.Y., Jung H.J., Bae S.H. Development of a corrected average speed model for calculating carbon di-oxide emissions per link unit on urban roads // Transportation Research. Part D: Transport and Environment. 34. R. 245-254.
17. Novikov A.N., Shevtsova A.G. Bezopasnoe i effektivnoe upravlenie transportnymi potokami v gorodskoy transportnoy sisteme. Moskva: Akademiya, 2022. 205 s.
18. Dombalyan A.V., Shatalova E.E. Razrabotka meropriyatiy po organizatsii dorozhnogo dvizheniya v gorodakh s uchetom ekologicheskikh parametrov // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2022. №3-3(78). S. 105-109.

#### Wang Yadong

Don State Technical University  
Address: 344002, Russia, Rostov-on-Don  
Postgraduate student  
E-mail: 57991672@qq.com

#### Wang Jingwen

Shandong Transport University  
Address: 5001, China, Jinan, Haitang Road  
Senior Lecturer  
E-mail: 1161710683@qq.com

#### Zyryanov Vladimir

Don State Technical University  
Address: 344003, Russia, Rostov-on-Don, Gagarina sq., 1  
Doctor of Technical Sciences  
E-mail: tolbaga@mail.ru

#### Linnik Vladimir Yurievich

State University of Management  
Address: 109542, Moscow, Ryazansky Prospekt, 99  
Doctor of Economic Sciences  
E-mail: y\_linnik@guu.ru

Научная статья

УДК 656.02

doi:10.33979/2073-7432-2024-4-3(87)-127-133

О.В. СТОРОЖЕВА, С.В. ДОРОХИН, А.А. ЧЕПРАСОВА

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ «ЗЕЛЕНОЙ ЛОГИСТИКИ»

**Аннотация.** В настоящей статье рассмотрено понятие «зеленая логистика», как стратегии по снижению негативного воздействия на природу от логистических действий, связанных с доставкой продукции в прямом и обратном направлениях от точки отправления до пункта потребления, услугами и др. Определена важность и необходимость ее развития в условиях современной экономики. Также приведены примеры успешного применения «зеленых технологий» в области логистики в мире.

**Ключевые слова:** зеленая логистика, экология, транспорт, перевозки, окружающая среда, экологическая ответственность, зеленые технологии

### **Введение**

В современном мире проблема загрязнения окружающей среды становится все более актуальной, так как антропогенная деятельность затрагивает все экологические системы, наблюдается нарушение равновесия в отношениях человеческого общества с природой.

Транспорт является неотъемлемой частью хозяйственной деятельности человеческого общества, но также представляет собой один из основных источников загрязнения. Автомобильные транспортные средства выделяют в окружающую среду большое количество вредных веществ, содержащих в своем составе оксид углерода, углеводороды, альдегиды, диоксид серы, сажу, бензапирен и другие химические вещества [6]. Токсичные агенты попадают в атмосферу, оседают на растениях, накапливаются в почве, потребляются с пищей. Очень важно оценивать относительную агрессивность данных вредных веществ. Например, автомобили с двигателями внутреннего сгорания (ДВС), в сравнении с бензиновыми двигателями, имеют высокий уровень выбросов оксида азота (NOx) и твердых частиц, что является наиболее опасным эффектом для окружающей среды [2]. Помимо транспорта негативное влияние на экосистему оказывают промышленные предприятия [1].

Решающим фактором устойчивого развития логистических операций является экологическая ответственность. Относительная стабильность климата и угроза истощения природных ресурсов побудила представителей бизнеса и органов государственного управления рассмотреть эффективные стратегии по снижению экологического ущерба от действий логистики. Становится актуальным развитие «зеленой логистики».

«Зеленая логистика» представляет собой концепцию, которая акцентирует внимание на минимизации негативного воздействия логистических операций на окружающую среду. Это включает в себя оптимизацию транспортных маршрутов, использование экологически чистых транспортных средств, а также внедрение технологий, способствующих снижению выбросов вредных веществ. Глубокое понимание этих процессов может существенно улучшить общий экологический след компаний, позволяя им не только соблюдать нормы законодательства, но и стать более конкурентоспособными на рынке.

Важным аспектом «зеленой логистики» является повышение энергоэффективности. Использование альтернативных источников энергии, таких как электромобили или биотопливо, позволит существенно снизить выбросы углекислого газа. Кроме того, внедрение технологий управления и мониторинга выбросов поможет логистическим компаниям в реальном времени отслеживать свое воздействие на природу и вносить необходимые корректировки.

Стимулирование перехода к более устойчивым моделям требует коллективных усилий. Государственные инициативы, такие как налоговые льготы для «зеленых» технологий и развитие инфраструктуры для альтернативного транспорта, могут создать благоприятные условия для бизнеса. Совместное взаимодействие бизнеса и государства станет ключом к

успешной реализации принципов «зеленой логистики» и улучшению состояния окружающей среды.

### **Материал и методы**

В качестве теоретической основы исследования были привлечены труды ведущих зарубежных и отечественных учёных и экспертов, посвящённые проблематике зелёной логистики и экологизации логистических процессов.

### **Теория**

В течении многих лет, человечество исследовало вопросы по оптимизации транспортных систем, логистики, стратегии по улучшению экологических проблем предприятия и т.д. Сегодня экологизация окружающей среды имеет глобальную ценность. Согласно исследованиям, Л. Янбо и Л. Сонгхьян, термин «зеленая логистика» предполагает, применение прогрессивных технологий и оборудования в логистике с намерением минимизировать количество загрязнений и увеличить продуктивность эксплуатации логистических ресурсов [8]. Это понятие определяет повышение конкурентоспособности предприятий благодаря экологической безопасности и экономической эффективности функционирования предприятия.

Зеленая логистика включает в себя ряд стратегий и подходов, направленных на снижение негативного воздействия логистических процессов на окружающую среду. Важным аспектом этого концепта является оптимизация транспортных маршрутов, что позволяет сократить выбросы углекислого газа и снизить потребление топлива. Применение альтернативных видов транспорта, таких как электромобили и поезда с низким уровнем выбросов, становится не только модным трендом, но и необходимостью для достижения устойчивого развития.

Кроме того, зелёная логистика подразумевает работу с упаковкой и материалами, которые подлежат переработке. Многие компании внедряют подходы к уменьшению отходов, используя многоразовую упаковку и снижая объемы использования пластика. Это не только помогает в сохранении природы, но и повышает имидж компаний в глазах потребителей, которые становятся все более осведомленными о экологических проблемах.

Важной задачей является также внедрение технологий, позволяющих отслеживать и управлять воздействием логистических процессов на окружающую среду. Использование больших данных и интернета вещей способствует более эффективному управлению ресурсами и минимизации потерь. В результате предприятия не только заботятся о природе, но и значительно экономят средства, что делает зелёную логистику неотъемлемой частью их бизнес-стратегии.

Согласно литературным данным, существует две категории исследования в области зеленой логистики. Первая – это макроуровень, где исследования по улучшению экологии происходят в глобальной цепи доставки груза или пассажиров, с учетом контроля выбросов и переработкой отходов. Вторая категория подразумевает, что анализ происходит на микроравнине, а именно изучение влияние отдельного региона, отрасли, предприятия на экологическую обстановку [7].

На макроуровне зеленая логистика исследует способы оптимизации транспортных сетей, минимизируя углеродный след и другие негативные экологические последствия. Сюда входят разработки устойчивых маршрутов и использование альтернативных видов топлива, таких как биодизель и электроэнергетические решения. Глобальные инициативы, такие как соглашения по сокращению выбросов парниковых газов, стимулируют страны к внедрению зеленых технологий на уровне целых цепей поставок.

На микроравнине акцент ставится на конкретные предприятия и их устойчивость. Исследования в этой области могут включать оценку методов упаковки и хранения товаров, а также внедрение систем утилизации, позволяющих компаниям минимизировать отходы. Важно отметить, что даже небольшие изменения в логистических процессах на уровне отдельного бизнеса могут существенно влиять на общую экологическую ситуацию в регионе.

Таким образом, обе категории исследований дополняют друг друга, предоставляя

комплексный подход к решению экологических проблем в логистике. Для успешной реализации стратегий зеленой логистики необходимо учитывать как глобальные тренды, так и локальные особенности. Трансформация логистического сектора в сторону устойчивости требует взаимодействия исследователей, предпринимателей и государственных структур.

Для достижения целей в зеленой логистике необходимо изменение традиционных подходов в перевозках в целом, а также внедрение инновационных технологий, которые позволяют минимизировать негативные воздействия на экологическую обстановку. Например, применение новейших систем контроля за транспортными потоками, позволяющих снизить время в пути, количество простоев и совершенствовать маршруты доставки груза.

Для эффективной реализации зеленой логистики необходим комплексный подход, который включает оптимизацию всех звеньев цепочки поставок. Внедрение автоматизированных систем управления складскими запасами и грузопотоками позволит не только сократить издержки, но и снизить углеродный след. Это также поможет обеспечить более оперативную реакцию на изменения в спросе и предложении, что сократит количество ненужных перевозок.

Совершенствование транспортных средств играет ключевую роль в переходе к устойчивой логистике. Использование электро- и гибридных грузовиков, а также альтернативных видов топлива, таких как водород или биотопливо, значительно уменьшает выбросы парниковых газов. Регулярное техобслуживание автопарка и применение систем мониторинга состояния транспортных средств помогут поддерживать их в оптимальном состоянии, снижая вероятность сбоев и потерю времени в пути.

Наконец, активное сотрудничество между всеми участниками логистической цепочки – от производителей до конечных потребителей – необходимо для достижения общих целей. Установление партнерств и обмен знаниями в области «зеленых» технологий поможет не только улучшить экологические показатели, но и повысить конкурентоспособность бизнеса.

Экологистика является популярным направлением среди многих известных иностранных компаний, таких как Toyota, Honda, IKEA, DHL, UPS и др., результаты их нововведений отражены в таблице 1 [4].

Экологистика, или устойчивое управление логистикой, стремительно набирает популярность среди крупных международных компаний, которые осознают важность снижения негативного воздействия на окружающую среду. Крупные игроки, такие как Toyota и Honda, внедряют инновационные технологии для оптимизации производственных процессов и логистических цепочек. Например, использование гибридных и электрических автомобилей значительно сокращает выбросы углекислого газа.

Компании, как IKEA, делают акцент на использовании возобновляемых ресурсов и переработке материалов. В своих складах они внедряют системы управления, которые минимизируют отходы и обеспечивают эффективное использование пространства. Такие шаги позволяют не только сократить затраты, но и привлечь покупателей, заинтересованных в экологически чистой продукции.

DHL и UPS активно исследуют возможности применения альтернативных источников энергии в логистических операциях. Их стремление к снижению углеродного следа привело к реализации проектов по использованию солнечных и ветряных станций. Эти компании внедряют также автономные транспортные средства, что позволяет существенно улучшить эффективность доставки.

Таким образом, экологистика становится неотъемлемой частью стратегий трансформации компаний к более устойчивому развитию. Эффективные внедрения данной концепции помогают укреплять конкурентные преимущества на мировом рынке и способствуют общему благополучию планеты.

Среди российских предприятий можно выделить ПАО «Магнит», представители заявили о частичном переходе на газовое топливо автотранспортных средств, а также об отказе от бумажных накладных в пользу электронных [3].

Таблица 1 – Примеры результатов деятельности инновационных технологий зеленой логистики иностранных компаний

Название предприятия	Вид деятельности	Результаты инновационных технологий зеленой логистики
Toyota	автомобилестроение	применение ветряных турбин и солнечных батарей, как источник электроэнергии
DHL	транспортно-логистическая компания	сервис gogreen, отслеживающий и контролирующий уровень выбросов
UPS	транспортно-логистическая компания	использования транспорта с гибридными установками и оптимизация маршрута
IKEA	компания по продажи мебели и товаров для дома	система отслеживания транспорта ikeas iway
Green Cargo Road and Logistics AB	транспортно-логистическая компания	эксплуатация энергосберегающих локомотивов
Tesla	автомобилестроение	грузовики на электротяге; развитие электrozаправок
Heineken	пивоваренная компания	переход на экоавтомобили; переоборудование освещения склада; инновационная методика, точно рассчитывающая выбросы транспорта в атмосферу

ПАО «Магнит» уверенно ведет свою политику по модернизации и усилению устойчивости к внешним экономическим условиям. Переход на газовое топливо для автотранспортных средств позволит не только снизить затраты на топливо, но и значительно уменьшить негативное воздействие на окружающую среду. Газовые автомобили обеспечивают более чистый выброс, что соответствует современным экологическим требованиям и задачам по снижению углеродного следа.

Отказ от бумажных накладных в пользу электронных решений также демонстрирует стремление компаний к цифровизации. Переход на электронный документооборот способствует оптимизации бизнес-процессов, сокращению времени обработки документов и снижению ошибок, связанных с их вручную оформлением. Кроме того, это позволяет улучшить взаимодействие с партнерами и обеспечивает более высокую степень прозрачности в бизнес-операциях.

Таким образом, ПАО «Магнит» делает шаги к устойчивому и высокоэффективному бизнесу, который отвечает современным требованиям общества и рынка. Такие инициативы могут послужить примером для других предприятий в стране, стремящихся к внедрению инновационных решений в свою деятельность.

Авиакомпания «S7 Airlines» ориентируется на новейшие и, что самое главное, экологические лайнеры в эксплуатации. Так, например, «Airbus A320neo» был разработан, как самый малошумный самолет, позволяющий снизить расходы топлива в зависимости от маршрута его следования [5].

«S7 Airlines» активно стремится сократить негативное влияние на окружающую среду, инвестируя в современные технологии и предлагая своим пассажирам более экологичные решения. Внедрение «Airbus A320neo» в флот авиакомпании стало важным шагом в этом направлении. Этот лайнер, обладая усовершенствованными двигателями, обеспечивает снижение потребления топлива на 15 % по сравнению с предыдущими моделями, что способствует уменьшению выбросов углекислого газа.

Кроме того, аэродинамические улучшения и использование современных материалов позволяют не только снижать шум, но и увеличивать уровень комфорта для пассажиров. «Airbus A320neo» предлагает более тихий салон, что делает полеты менее напряженными и приятными. Инновационные технологии позволяют разбивку маршрутов так, чтобы минимизировать время в воздухе, что также отражается на расходах топлива.

Ставя перед собой задачи по улучшению экологии, «S7 Airlines» активно развивает программы по утилизации и переработке отходов на борту. Такие меры способствуют снижению общего экологического следа авиаперевозчика. Вдобавок, компания также поддержи-

вает инициативы по компенсации углеродных выбросов, что подтверждает ее приверженность к устойчивому развитию и заботе о нашей планете.

В зеленой логистике часто преимущество отдается такому экологически безопасному транспорту, как железнодорожный и водный. Большое внимание должно уделяться созданию благоприятных условий для развития логистических компаний, совершенствованию системы регулирования и контроля с целью оптимизации взаимодействия и взаимного согласования различных видов транспорта, построению эффективной системы экологического менеджмента [9].

Кроме того, развитие зеленой логистики требует внедрения инновационных технологий, которые помогут уменьшить углеродный след и повысить эффективность транспортных операций. Например, использование электровозов и судов на альтернативных видах топлива может существенно снизить выбросы парниковых газов. Инвестиции в инфраструктуру, такие как электрозарядные станции и терминалы для перевалки грузов, являются ключевыми для перехода на более экологичные методы транспортировки.

Координация между различными видами транспорта также играет важную роль в создании комплексной зеленой логистической сети. За счет интеграции информационных систем и использования цифровых платформ можно добиться более высокой оперативности и уменьшения времени простоя транспортных средств. Это не только улучшит экономические показатели логистических компаний, но и снизит негативное воздействие на окружающую среду.

Не менее значимым является вовлечение всех участников логистической цепочки в реализацию принципов устойчивого развития. Обучение и информирование партнеров по вопросам зеленой логистики создаст условия для более широкого принятия экологически безопасных решений. В конечном итоге, успех зеленой логистики зависит от совместных усилий государства, бизнеса и общества в целом.

### **Результаты**

Анализ успешного применения экологических разработок в России и за рубежом показывает, что это способствуют не только сокращению негативного влияния на природу в целом, но и является выгодным в экономическом плане. Поскольку число онлайн-покупателей растет, их предпочтения также смещаются в сторону экологичности, компании, инвестирующие зеленые технологии, укрепляют свои позиции на рынке и становятся наиболее конкурентоспособными.

### **Обсуждение**

Значимость зеленой логистики обусловлена тем, что она оказывает влияние буквально на все сферы жизни человека. Сегодня потребитель готов изменить свои предпочтения к покупкам в электронной коммерции, чтобы снизить воздействие на окружающую среду, предприятия, в свою очередь, готовы подстраиваться под вкусы покупателя. Однако, этот этап перехода происходит медленно, потому что руководители ставят устойчивость выше, чем число своих корпоративных приоритетов.

Конечно, не каждая компания готова внедрить стратегии экологистики, но приоритетное направление рынка ясно: организация, которая занимается вопросом об улучшении экологической обстановки, в своей цепочке поставок продукции обнаружит, что экологичность логистических процессов окупается, так как это становится главной тенденцией в мире.

### **Выводы**

Таким образом, можно сделать вывод, что стратегия зеленой логистики актуальна и на сегодняшний момент, ее развитие необходимо, так как это способствует улучшению экологической обстановки в целом и обеспечивает экономическую выгоду.

Предприятиям, занимающимся доставкой грузов «от двери до двери», необходимо концентрироваться на повышении устойчивости логистических операций. Этого можно достичь с помощью внедрения той самой зеленой логистики, которая базируется на экологически-чистых методах.

Зеленая логистика является неотъемлемой частью устойчивых методов ведения бизнеса и может помочь организациям экономить деньги при одновременной защите окружающей среды.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дадаев Я.Э. Особенности эколого-экономического механизма природопользования // Материалы Международной научно-практической конференции «Проблемы устойчивого развития: отраслевой и региональный аспект». Тюмень. 2019. 363 с.
2. Зырянов В.Ю. Содержание выхлопных газов. Анализ бензина при сгорании // Молодой ученый. 2020. №19(309). 26 с.
3. Карпова Н.П., Павлов М.С. Проблемы и перспективы внедрения зеленой логистики в России // Экономика, предпринимательство и право. 2020. Т. 10. №4. 1068 с.
4. Коблянская И.И. Структурно-функциональные основы формирования экологоориентированной логистики // Вестник СумГУ. 2019. №1. 93 с.
5. Официальный сайт АО «Авиакомпания «Сибирь» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.s7.ru>.
6. Сторожева О.В., Дорохин С.В., Чепрасова А.А., Парфёнова Н.В. Тенденции развития электротранспорта в России // Проблемы и перспективы конструктивного совершенствования отечественного автомобильного строения. материалы Всероссийской научно-технической конференции. Воронеж, 2023. 65 с.
7. Agyemang M., Zhu Q., Adzanyo M., Antarcicu E., Zhao S. Evaluating barriers to green supply chain redesign and implementation of related practices in the West Africa cashew industry. Resour. Conser. Recycl. 2018. Vol. 136. P. 215.
8. Janbo Li, Songxian Liu. The Forms of Ecological Logistics and Its Relationship Under the Globalization // Ecological Economy. 2008. №4. P. 290.
9. Kobzev V., Izmaylov M., Nagaty A.M. Prospects and Opportunities for Green Logistics Development in Russia [Электронный ресурс] / Digital Technologies in Logistics and Infrastructure. ICDT 2021. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies. Vol 157. Springer, Cham. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-24434-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-031-24434-6_2).
10. Федотов А.Б., Астафьев И.В. Методика рационального распределения материальных средств при планировании логистических процессов системы дальневосточной транспортной сети // Стратегическая стабильность. 2023. №4(105). С. 20-27. EDN HYZQWC.
11. Маннонов Ж.А., Имомназаров С.К., Купайсинов Д.Х.у., Жамилов Б.М.у. Технологические процессы функционирования производственно-транспортной системы и вопросы их логистического управления // Universum: технические науки. 2022. №6-3(99). С. 43-47. EDN FLWDHD.
12. Волкова В.Н., Кудрявцева А.С. Модели для управления инновационной деятельностью промышленного предприятия // Открытое образование. 2019. №22(4). С. 65- 74.
13. Кудрин А.Л. Экономическое развитие. Т.1. Москва: Дело РАНХиГС, 2020. 472 с.
14. Попов А.А., Эмомалиев М.Р., Гафуров А.Г. Проектирование транспортной логистической системы «tracex» // Оригинальные исследования. 2019. Т. 9. №2. С. 27-37. EDN PPJOER.
15. Рожко О.Н., Яковлев Р.А. Инновационные аспекты управления транспортными логистическими системами // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2015. Т. 71. №2. С. 149-158. EDN VJMGBP.

### **Сторожева Ольга Владимировна**

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова

Адрес: 394087, Россия, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8

Магистрант

E-mail: storogeava2001@gmail.com

### **Дорохин Сергей Владимирович**

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова

Адрес: 394087, Россия, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8

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

E-mail: dsvvrn@yandex.ru

### **Чепрасова Анна Александровна**

Воронежского государственного медицинского университета имени Н.Н. Бурденко

Адрес: 394036, г. Воронеж, ул. Студенческая, д. 10

Ассистент кафедры «Биология»

E-mail: cheprasova\_81@mail.ru

---

O.V. STOROZHEVA, S.V. DOROKHIN, A.A. CHEPRASOVA

## **PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF «GREEN LOGISTICS»**

**Abstract.** This article discusses the concept of «green logistics» as a strategy to reduce the negative impact on nature from logistical actions related to the delivery of products in the forward and reverse directions from the point of departure to the point of consumption, services, etc. The importance and necessity of its development in the conditions of modern economy are determined. Examples of successful application of "green technologies" in the field of logistics in the world are also given.

**Keywords:** green logistics, ecology, transport, transportation, environment, environmental responsibility, green technologies

## BIBLIOGRAPHY

1. Dadaev Y.A.E. Osobennosti ekologo-ekonomiceskogo mekhanizma prirodopol`zovaniya // Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Problemy ustoychivogo razvitiya: otrazhennyi regional`nyy aspekt». Tyumen` 2019. 363 s.
2. Zyryanov V.YU. Soderzhanie vykhlopnykh gazov. Analiz benzina pri sgoranii // Molodoy uchenyy. 2020. №19(309). 26 s.
3. Karpova N.P., Pavlov M.S. Problemy i perspektivy vnedreniya zelenoy logistiki v Rossii // Ekonomika, predprinimatel`stvo i pravo. 2020. T. 10. №4. 1068 s.
4. Koblyanskaya I.I. Strukturno-funktsional`nye osnovy formirovaniya ekologoorientirovannoy logistiki // Vestnik SumGU. 2019. №1. 93 s.
5. Ofitsial`nyy sayt AO «Aviakompaniya «Sibir`» [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.s7.ru>.
6. Storozheva O.V., Dorokhin S.V., Cheprasova A.A., Parfionova N.V. Tendentii razvitiya elektrotransporta v Rossii // Problemy i perspektivy konstruktivnogo sovershenstvovaniya otechestvennogo avtomobilestroeniya. materialy Vserossiyskoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii. Voronezh, 2023. 65 s.
7. Agyemang M., Zhu Q., Adzanyo M., Antarcic E., Zhao S. Evaluating barriers to green supply chain redesign and implementation of related practices in the West Africa cashew industry. Resour. Conser. Recycl. 2018. Vol. 136. R. 215.
8. Janbo Li, Songxian Liu. The Forms of Ecological Logistics and Its Relationship Under the Globalization // Ecological Economy. 2008. №4. P. 290.
9. Kobzev V., Izmaylov M., Nagaty A.M. Prospects and Opportunities for Green Logistics Development in Russia [Elektronnyy resurs] / Digital Technologies in Logistics and Infrastructure. ICDT 2021. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies. Vol 157. Springer, Cham. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-24434-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-031-24434-6_2).
10. Fedotov A.B., Astaf`ev I.V. Metodika ratsional`nogo raspredeleniya material`nykh sredstv pri planirovaniii logisticheskikh protsessov sistemy dal`nevostochnoy transportnoy seti // Strategicheskaya stabil`nost`. 2023. №4(105). S. 20-27. EDN HYZQWC.
11. Mannonov ZH.A., Imomnazarov S.K., Kupaysinov D.H.u., ZHamilov B.M.u. Tekhnologicheskie protsessy funktsionirovaniya proizvodstvenno-transportnoy sistemy i voprosy ikh logisticheskogo upravleniya // Universum: tekhnicheskie nauki. 2022. №6-3(99). S. 43-47. EDN FLWDHD.
12. Volkova V.N., Kudryavtseva A.S. Modeli dlya upravleniya innovatsionnoy deyatel`nostyu promyshlennogo predpriyatiya // Otkrytoe obrazovanie. 2019. №22(4). S. 65- 74.
13. Kudrin A.L. Ekonomicheskoe razvitiye. T.1. Moskva: Delo RANHiGS, 2020. 472 s.
14. Popov A.A., Emomaliev M.R., Gafurov A.G. Proektirovaniye transportnoy logisticheskoy sistemy «tracex» // Original`nye issledovaniya. 2019. T. 9. №2. S. 27-37. EDN PPJOER.
15. Rozhko O.N., YAKOVLEV R.A. Innovatsionnye aspekty upravleniya transportnymi logisticheskimi sistemami // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. A.N. Tupoleva. 2015. T. 71. №2. S. 149-158. EDN VJMGBC.

**Storozheva Olga Vladimirovna**

Voronezh State Forestry Engineering University  
Address: 394087, Russia, Voronezh, Timiryazeva str., 8  
Master's Degree student  
E-mail: storogeva2001@gmail.com

**Cheprasova Anna Alexandrovna**

Voronezh State Medical University  
Address: 394036, Russia, Voronezh, Studentskaya str., 10  
Assistant of the Department of Biology  
E-mail: cheprasova\_81@mail.ru

**Dorokhin Sergey Vladimirovich**

Voronezh State Forestry Engineering University  
Address: 394087, Russia, Voronezh, Timiryazeva str., 8  
Doctor of Technical Sciences  
E-mail: dsvrn@yandex.ru

Научная статья

УДК 62-294.4

doi:10.33979/2073-7432-2024-4-3(87)-134-142

Н.С. ЛЮБИМЫЙ, Б.С. ЧЕТВЕРИКОВ, И.В. ТОПИЛИН, А.А. ФЕОФИЛОВА

## ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ РЕГИОНА

**Аннотация.** При производстве широкого спектра беспилотных авиационных систем БАС особое значение имеет вес компонентов изделия. С этой целью производители прибегают к использованию в конструкциях различных композитных материалов, пластиков, алюминиевых сплавов. Часто детали БАС имеют сложную форму, обоснованную необходимостью сбалансированного расположения компонентов, друг относительно друга, наличием большого количества крепёжных отверстий и поверхностей, обтекаемой формы изделий. Таким образом детали, применяемые при изготовлении БАС имеют с одной стороны сложную форму, а с другой, с учётом свойств материала, низкую жесткость в определенных направлениях, так как эти детали выполняются тонкостенными. В исследовании приводится технологическое решение, которое позволяет произвести механическую обработку нежёсткой детали БАС с использованием автоматизированных средств производства. Приводится необходимая методика расчёта сил закрепления с учетом предложенного способа крепления нежёсткой заготовки на разработанной оснастке. Так же описывается процесс работы разработанной оснастки и её комплектация. Технологическая оснастка для выполнения отверстий в нежёсткой детали предложенной конструкции, позволит повысить точность обработки при механической обработке фрезерованием, за счёт надёжной фиксации заготовки путём лишения её всех шести степеней свободы при воздействии на неё сил резания.

**Ключевые слова:** композит, полимер, обработка, фрезерование, жесткость, робот, автоматизация, базирование, точность

### **Введение**

Беспилотные авиационные системы БАС в последние годы занимают всё больше и больше места в реализации различных транспортных систем [1-5]. Рынок БАС стремительно растёт с каждым годом, появляются всё новые и новые области, где БАС могут эффективно применяться, тут и доставка товаров, контроль и разведка дорожно-транспортной сети, сельское хозяйство, ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций и даже индивидуальное перемещение человека. В связи с этим машиностроительная отрасль находится на передовой технического прогресса, так как для производства такого класса устройств требуется применение новых материалов, средств конструирования, инструмента, средств управления и методов обработки и сборки.

Одно из ключевых требований, предъявляемых к деталям и компонентам БАС, это низкая масса при необходимой прочности изделия. Сегодня широкий ряд полимерных и композитных материалов, применяемых в авиастроении способен удовлетворить этим требованиям. Хотя специфика используемых в авиастроении материалов и в строительстве БАС отличается. Во многих случаях характер нагрузок и их величина кардинально различные.

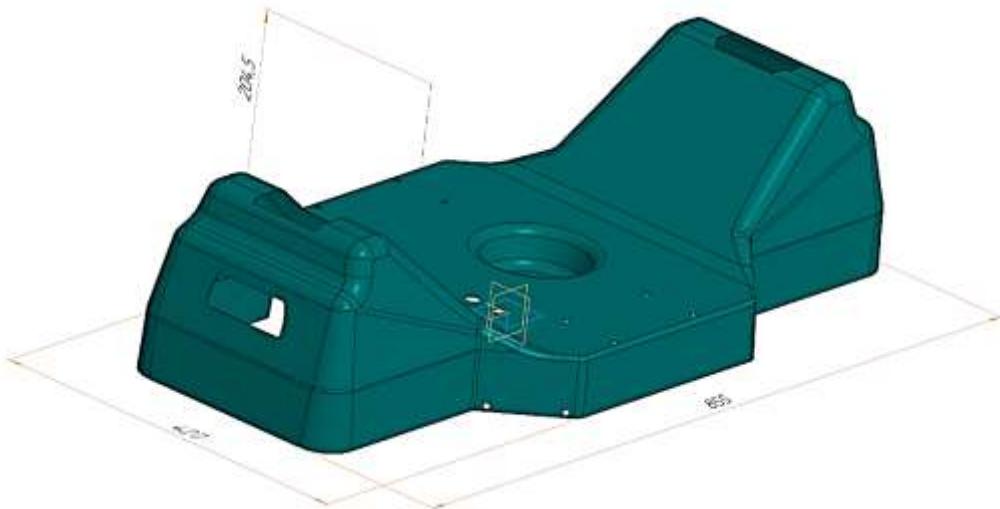
При строительстве БАС чаще всего при изготовлении корпусных изделий, кожухов, используются термопластичные полимеры [6-8], они отличаются необходимой прочностью, а также легко формуются на термопластавтоматах. Используемая при этом оснастка в виде пресс-форм ПФ, позволяет получать детали с низкой шероховатостью поверхности, соответствующей  $Ra0.8$  мкм. Пресс-формы отличаются высокой стоимостью, так как требуют высокой точности изготовления и состоят из множества систем, таких как системы охлаждения ПФ, системы выталкивания изделия из ПФ, системы заполнения термопластом, системы подогрева, системы оформления внутренних полостей и т.п. Поэтому, когда изделие имеет сложную пространственную форму и множество технологических отверстий, целесообразно не усложнять конструкцию ПФ, не только повышая её стоимость, но и снижая её надёжность, а

произвести постобработку. Для этих целей можно использовать или станки с ЧПУ или же автоматизированную обработку промышленными роботами [9-12]. Как правило выбор конкретного технического решения зависит от требований к размерной точности выполняемых отверстий, способа крепления заготовки на оборудовании, а также габаритных размеров заготовки.

В работе представлена разработка технического решения обработки нежёсткой детали типа кожух. Цель работы состояла разработать техническое решение, позволяющее произвести автоматизированную обработку отверстий в нежёсткой заготовке по заданной 3D модели изделия. Согласно техническому заданию от производителя, техническое решение должно обеспечивать высокий уровень автоматизации и при этом обеспечивать заданную точность обработки.

### **Материалы и методы**

Предоставленная заводом изготовителем модель детали кожух (рис. 1) имеет габаритные размеры 427мм x 855мм x 204,5мм и выполнена из поликарбоната. Толщина стенки детали составляет 1,5 мм.



*Рисунок 1 – Цифровая модель детали - кожух*

Производитель отливает заготовку такой детали на термопластавтомате, что характеризует наличие у детали соответствующих литейных уклонов. Формообразующие поверхности пресс-формы для литья термопластов (в том числе поликарбоната) изготавливаются с высокой размерной точностью (6-7 квалитет) и низкой шероховатостью ( $Ra$  0.25). За счёт наследования отливкой качественных и размерных свойств формообразующей оснастки, можно сделать вывод, что заготовка кожуха имеет шероховатость поверхности не более  $Ra$  0.25 мкм.

Тонкостенная деталь из поликарбоната нежёсткая и может подвергаться существенным деформациям при её закреплении с использованием механических (гидравлических) захватных устройств, что является ограничивающим фактором при их использовании в данном техническом задании.

Для разработки и моделирования технологической оснастки использовалась отечественная САПР, приложение КОМПАС – 3D v20.0.0.3002. Для реализации процесса программирования робота и визуального моделирования использовался симулятор промышленных роботов и оффлайн программатор RoboDK.

### **Теория / Расчёт**

Анализ существующих технических решений [13-16] для закрепления нежёстких тонкостенных полимерных деталей сложной пространственной формы беспилотных авиационных систем при их механической обработке, показал, что основными недостатками являются низкая точность обработки детали. Низкая точность обработки возникает при приложении неперпендикулярных самоустанавливающимся опорам сил резания при фрезеровании, что может привести к смещению заготовки в горизонтальной плоскости. Это приведет к возник-

новению погрешности базирования заготовки и как следствие к снижению точности фрезерной обработки.

Другим существенным недостатком существующих решений, является ненадёжная фиксация заготовки, конструкция которой не обеспечивает наличие достаточного количества касательных поверхностей заготовки к горизонту до  $45^\circ$ . То есть, когда форма заготовки имеет преимущественно наклонные от  $46^\circ$  до  $90^\circ$  к горизонту поверхности. Это не позволяет срабатывать присоскам и опорам для надёжной фиксации заготовки от перемещения по трём координатам в процессе обработки. Кроме того, заявленная в таких технических решениях точность перемещения пневмоцилиндров в пределах допуска 2,5 мм и повторяемость в пределах 0,25 мм не обеспечивает достаточной точности базирования заготовки для изделий машиностроительного назначения, к которым предъявляются высокие требования к точности механической обработки, например, при изготовлении деталей беспилотных авиационных систем.

Разработанное техническое решение направлено на решение задачи повышения точности механической обработки, за счёт уменьшения погрешности базирования нежёсткой детали.

На рисунках 2-4 показаны виды разработанной модели технологической оснастки для выполнения отверстий в нежёсткой детали.

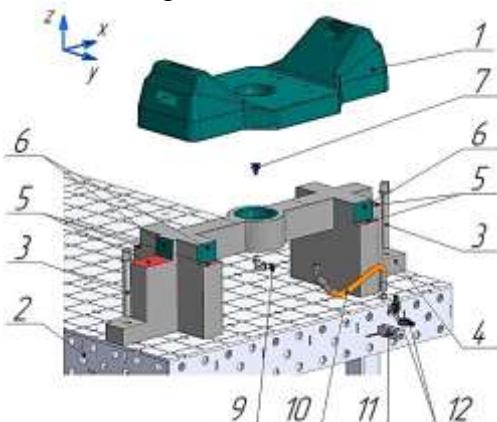


Рисунок 2 – Разнесенная модель технологической оснастки для выполнения отверстий в нежёсткой детали

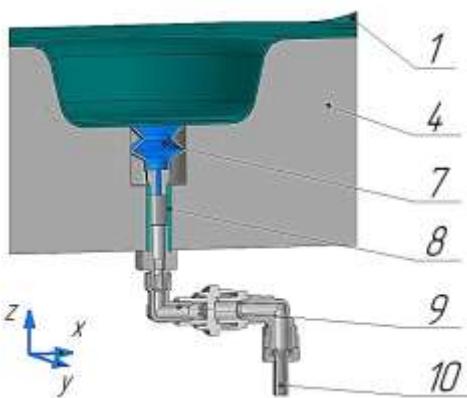


Рисунок 3 – продольное сечение технологической оснастки

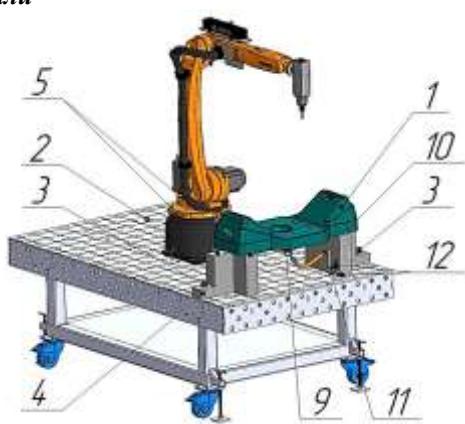


Рисунок 4 – общий вид технологической оснастки с роботом

Технологическая оснастка для выполнения отверстий в нежёсткой детали 1, содержит основание 2, на котором, например, при помощи крепёжных элементов 3, жёстко закреплена металлическая опора 4, выполненная с образованием базовых опорных торцевых поверхностей 5 и базовых опорных боковых поверхностей 6. Базовые опорные торцевые поверхности 5 и базовые опорные боковые поверхности 6 выполнены таким образом, чтобы повторять профиль внутренней полости нежёсткой детали 1. Вакуумная присоска 7 чашеобразной формы герметично установлена, например, посредством резьбового соединения, в сквозное отверстие 8, расположенное в металлической опоре 4, со стороны нежёсткой детали 1. С про-

тивоположной стороны металлической опоры 4 в сквозное отверстие 8, герметично установлен, например, посредством резьбового соединения, отвод 9. Отвод 9 герметично сопряжен вакуумным шлангом 10 с коллектором 11. Коллектор 11 закреплен, например, болтами, на опоре 4. Коллектор 11 соединён с двумя кранами 12, один из которых предназначен для соединения с источником вакуума.

Для расчета прочности крепления детали из пластика с вакуумной присоской необходимо учитывать несколько факторов: площадь контакта присоски с деталью, давление вакуума, создаваемое в присоске, и атмосферное давление, которое действует на наружную поверхность присоски.

На первом этапе необходимо определить площадь контакта присоски с деталью ( $S$ ). Площадь контакта можно преобразовать по формуле квадрата круга, если присоска имеет круглую форму как в текущем случае.

$$S = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2, \text{ мм}^2 \quad (1)$$

где  $d$  - диаметр присоски, мм.

Разница между атмосферным давлением ( $P_{\text{атм}}$ ) и давлением внутри присоски ( $P_{\text{вак}}$ ) создает силу закрепления. Обычно атмосферное давление составляет около 101325 Па (примерно 1 атм), давление внутри присоски будет ниже, в зависимости от глубины вакуумирования.

$$\Delta P = P_{\text{атм}} - P_{\text{вак}}, \text{ Па} \quad (2)$$

Сила фиксации  $\Phi$  может быть определена как произведение изменения давления на площади контакта:

$$\Phi = \Delta P \cdot S, \text{ Н} \quad (3)$$

Произведем примерный расчёт для вакуумной присоски диаметром 30 мм или 0,03м, с учётом использования вакуума в 20000Па.

$$S = \pi \cdot \left(\frac{0,03}{2}\right)^2 = 0,0007065 \text{ м}^2$$

Разница давлений составит:

$$\Delta P = 101325 \text{ Па} - 20000 \text{ Па} = 81325 \text{ Па}$$

Тогда сила фиксации  $\Phi$  составит:

$$\Phi = 81325 \text{ Па} \cdot 0,0007065 \text{ м}^2 = 57,5 \text{ Н}$$

### Результаты

Технологическая оснастка для выполнения отверстий в нежёсткой детали работает следующим образом. На основание 2 при помощи крепёжных элементов 3 жёстко закрепляется металлическая опора 4. Заготовка нежёсткой детали 1, например, кожух беспилотной авиационной системы, вручную или при помощи роботизированных систем устанавливается своим торцом на базовые опорные торцевые поверхности 5 металлической опоры 4, таким образом, что бы своей внутренней поверхностью плотно сопрягается с базовыми опорными боковыми поверхностями 6, благодаря такому сопряжению заготовка лишается степеней свободы от перемещения относительно осей X и Y и вращения относительно осей X, Y и Z. Затем, открывается один из кранов 12, соединённый с коллектором 11 и источником вакуума. Другой кран 12, в этот момент закрыт. Через коллектор 11, вакуум по вакуумному шлангу 10 соединяясь отводом 9 с сквозным отверстием 8, передаёт вакуум на вакуумную присоску 7 чашеобразной формы. Вакуумная присоска 7 чашеобразной формы срабатывает и фиксирует заготовку нежёсткой детали 1 от перемещения вдоль оси Z. Таким образом заготовка нежёсткой детали 1 лишается всех шести степеней свободы и при обработке фрезерованием надёжно удерживается в оснастке, что исключает возможность смещения заготовки нежёсткой детали 1 в процессе её механической обработки под действием сил резания. Надёжная фиксация нежёсткой заготовки детали 1 уменьшает погрешность базирования.

Далее производится роботизированная фрезерная обработка отверстий нежёсткой детали 1. По завершению фрезерной операции кран 12 соединяющий коллектор 11 с источником вакуума закрывается. Второй кран 12 установленный в коллектор 11 открывается, обеспечивая уравновешивание давление в системе технологической оснастки с атмосферным. Заготовка нежёсткой детали 1 теряет фиксацию относительно перемещения вдоль оси Z, и она

может быть снята с технологической оснастки для выполнения отверстий в нежёсткой детали 1. Для нового цикла обработки устанавливается новая заготовка нежёсткой детали 1. Повторяются вышеописанные действия.

Для автоматизации процесса механической обработки фрезерованием предлагается произвести моделирование с использованием модели промышленного 6 осевого робота манипулятора, например, робота KUKA KR8 R1620.

Технологическая оснастка с заготовкой (рис. 4) закрепляется, например на сварочном столе, таким образом, чтобы у промышленного робота с установленным на его фланце инструментом был доступ ко всем необходимым поверхностям.

В САПР для программирования промышленных роботов, например RoboDK, отобразим рабочую зону робота и проверим не выходит ли траектория перемещения фланца робота за пределы рабочей зоны робота. На рисунке 5 показана проверка пересечения траектории обработки с рабочей зоной промышленного робота.

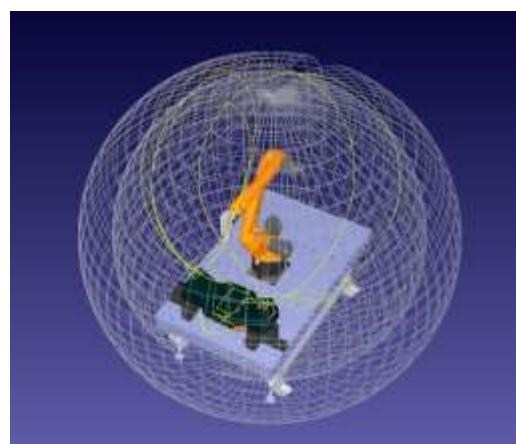


Рисунок 5 – проверка пересечения траектории обработки с рабочей зоной промышленного робота

Как видно из образованной модели, отображаемая рабочая зона робота манипулятора покрывает установленную в разработанной оснастке модель заготовки кожуха. Значит существует возможность произвести фрезерную обработку. Для этого нам необходимо запрограммировать робота.

Методика программирования промышленного робота [17, 18] заключается в указании целевых точек в системе координат робота, к которым необходимо задать инструкцию подхода точки центра инструмента (TCP) (рис. 6).

Далее в дереве построения создаётся файл программы, в котором пошагово программируется перемещение координаты центра инструмента (TCP) от точки к точке с указанием соответствующей инструкции. Возможно перемещение по линейной траектории, по криволинейной траектории и перемещение круговой интерполяцией.

Перемещение круговой интерполяцией позволяет траектории инструмента описывать окружность, что необходимо при фрезеровании отверстий, у которых диаметр больше диаметра установленной фрезы. Так как обработку необходимо произвести без смены инструмента, использовалась концевая фреза Ø7мм, которая позволяет выполнить наименьший радиус в детали, соответствующий 3,5 мм. Отверстия большего диаметра выполнялись с использование круговой интерполяции.

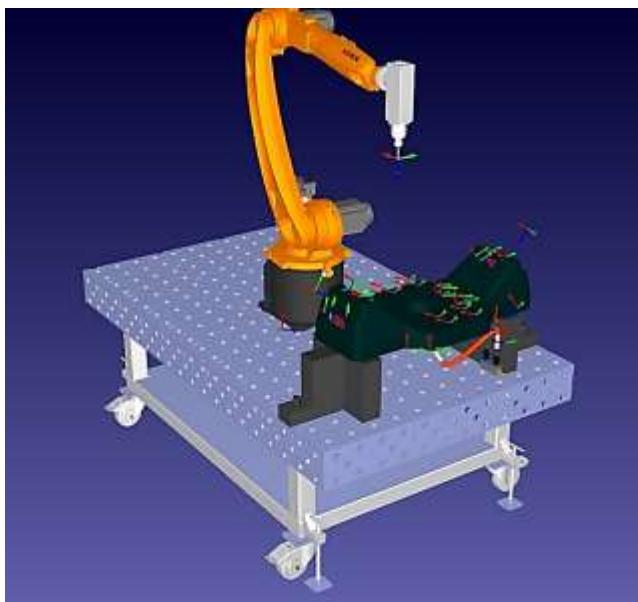
На рисунках 7 и 8 показаны траектории перемещения инструмента промышленным роботом для фрезерной обработки детали «кожух».

Следует отметить, что траектория движения робота может показаться не оптимальной, и, возможно, она могла бы быть улучшена за счёт иного расположения детали или робота друг относительно друга.

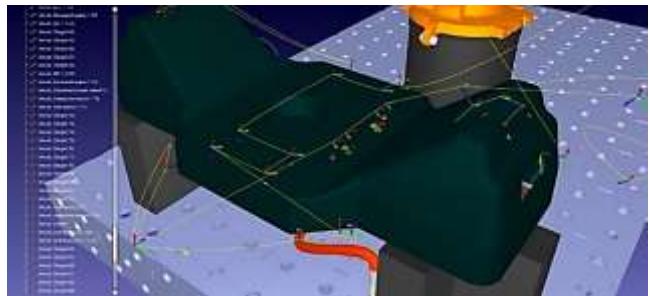
Для поставленного технического задания разработки технологической фиксации нежёсткой детали кожух, была разработана модель технического решения, позволяющая произвести автоматизированную обработку с достижением требуемой точности. Автоматизированная обработка была реализована путём применения промышленного робота KUKA KR8 R1620.

С учётом характера приложения сил при фрезерной обработке и выбранного способа базирования, по внутренним поверхностям детали, существовала потребность в обеспечении надёжной фиксации заготовки при выводе фрезы из профилей фрезерованного отверстия. Данная задача была решена путём применения вакуумной присоски.

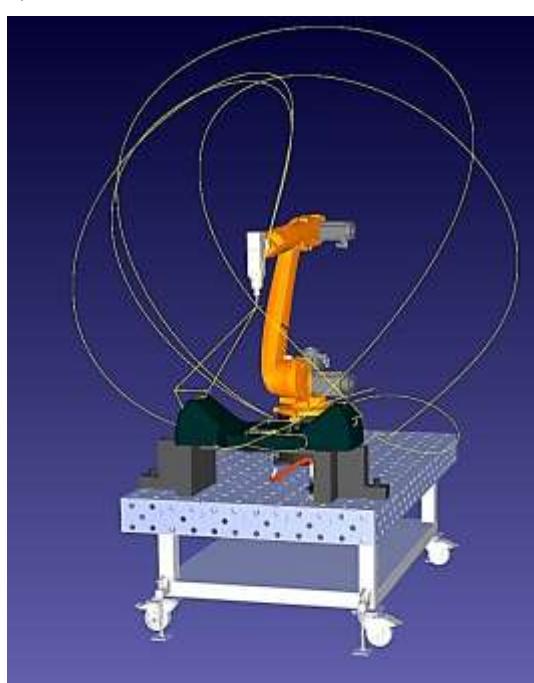
Расчёт сил закрепления вакуумной присоской показал, что развиваемой силы 57,5 Н фиксации будет достаточно для надёжного удержания заготовки на оснастке с сохранением постоянства базового положения, чтобы произвести фрезерную обработку предложенным методом.



*Рисунок 6 – Задание целевых точек траектории перемещения исполнительного механизма (Шпиндель с фрезой)*



*Рисунок 7 – Траектория перемещения инструмента промышленным роботом для фрезерной обработки детали «кофейх» (приближенный вид)*



*Рисунок 8 – Траектория перемещения инструмента промышленным роботом для фрезерной обработки детали «кофейх» (общий вид)*

#### *Обсуждение*

Выбранная модель робота KUKA KR8 R1620 обеспечивает такую зону обработки, которая «впритык» обеспечивает обработку детали с габаритами как у детали «Кожух». Возможно поэтому робот вынужден достигать своих предельных значений поворотов осей, а затем совершать обратные движения, чтобы дотянуться до других точек. Использование промышленного робота с другой, более широкой рабочей зоной, привело бы к оптимизации траектории движения. Вместе с тем, роботы больших габаритов могут значительно превышать стоимость KUKA KR8 R1620. Это приведёт к тому, что незначительное снижение основного технологического времени обработки значительно удорожит стоимость оборудования, используемого в предлагаемом технологическом процессе.

Согласно данным руководства по эксплуатации роботов KUKA, указана точность повторяемости не более 0.2 мм для модели KUKA KR8 R1620. Согласно ТЗ, допуск на выпол-

нение обработки составляет 0.4 мм. Следовательно, точность обработки промышленным роботом удовлетворяет требованиям Т3.

### Выводы

Была разработана модель оснастки для фрезерной обработки детали «Кожух». Предложенный вариант оснастки удовлетворяет заявленным в Т3 ограничениям, таким как необходимая точность обработки с допуском 0,4мм, нежесткий характер конструкции заготовки, хрупкость материала заготовки, наличие сложной формы и круто наклонных поверхностей.

Была предложена технология автоматизации выполнения отверстий в детали «Кожух», путём применения технологии фрезерования с применением промышленного робота KUKA KR8 R1620, обеспечивающего точность повторяемости перемещений не более 0.2 мм.

Разработанная оснастка для выполнения автоматизированной обработки обеспечивает требуемое базирование заготовки и надёжное закрепление за счёт вакуумной присоски. Для усиления силы фиксации и повышения эффективности крепления необходимо убедиться, что поверхность детали и вакуумной присоски чистая и ровная, чтобы свести к минимуму утечку воздуха и сохранение вакуума. При необходимости увеличения мощности крепления можно использовать несколько вакуумных присосок или присосок с большей площадью контакта. Убедитесь, что вакуумная система способна поддерживать стабильный уровень вакуума для обеспечения надежного уровня разряжения. Была приведена методика расчёта силы фиксации детали с использованием вакуумной присоски, которая составила 57,5 Н для предложенного варианта конструкции.

С учетом активного развития беспилотных авиационных систем, которые сегодня применяются коммунальными службами при уборке территорий [19] и в области безопасности дорожного движения [20] такого рода технологии в целом будут способствовать повышению эффективности функционирования транспортной отрасли.

**Финансирование:** Работа выполнена в рамках реализации программы «Приоритет 2030» СК-ПРП-70.02-23 от 09.01.2023 г. с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова за счет научного проекта № МЛ-5/23 от 07.06.23 г. по теме: «Исследование и разработка конструкции составного металлорежущего инструмента с оптимизированной внутренней структурой с целью его изготовления аддитивными методами производства» при содействии Центра трансфера инновационных технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рославцева С.А., Жулев А.И., Цветков Д.А. Применение беспилотных летательных аппаратов (беспилотных воздушных судов) для акарицидных обработок // Пест-Менеджмент. 2021. №4(120). С. 22-26. DOI 10.25732/PM.2021.120.4.004.
2. Иванец В.М., Лукьянчик В. Н., Мельник В. Н. Особенности управления беспилотными летательными аппаратами в составе беспилотной интеллектуальной авиационной системы на основе технологий искусственного интеллекта // Военная мысль. 2022. №9. С. 100-109.
3. Файзуллин Н.Н. Использование беспилотных летательных аппаратов и беспилотных аппаратов в работе силовых структур в России и зарубежных странах // Евразийский юридический журнал. 2019. №9(136). С. 289-291.
4. Юдин Д.А., Горшкова Н.Г., Кныш А.С., Фролов С.В. Распознавание транспортных средств и регистрация их траектории движения на последовательности изображений // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. №6. С. 139-148.
5. Наумов А.Е., Юдин Д.А., Долженко А.В. Совершенствование технологии проведения строительно-технических экспертиз с использованием аппаратно-программного комплекса автоматизированной дефектоскопии // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2019. №4. С. 61- 69. DOI 10.34031/article\_5cb824d26344e7.45899508.
6. Тужилин С.П., Лопатина Ю.А., Свиридов А.С. Переработка полимерных материалов методом свободного литья в вакууме // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2020. №7. С. 93-100. DOI 10.34031/2071-7318-2020-5-7-93-100.
7. Любимый Н.С., Польшин А.А., Тихонов А.А. [и др.] Исследование эффективности работы конформных каналов охлаждения композитных пресс-форм // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2022. №7. С. 101-109. DOI 10.34031/2071-7318-2022-7-7-101-109.
8. Петрова Г.Н., Бейдер Э.Я. Конструкционные материалы на основе армированных термопластов // Российский химический журнал. 2010. Т. 54. №1. С. 34-40.
9. Илюхин Ю.В., Колесниченко Р.В. Анализ точности движений при фрезеровании роботами с прецизионными двухдвигательными приводами // СТИН. 2019. №7. С. 18-21.
10. Алиев Р., Гусейнов Р. Фрезерные роботы - взгляд на техническое состояние // Автоматизация и современные технологии. 2011. №11. С. 11-18.
11. Швандт А., Ющенко А.С. Исследование возможностей промышленного манипуляционного робота при выполнении сложных технологических операций // Экстремальная робототехника. 2013. Т. 1. №1. С. 189-198.

12. Кулебякин А.А., Молчанов Р.А., Порсев К.И. Проектирование обработки для фрезерного робота в среде SprutCAM Robot v.14 // Мехатроника, автоматика и робототехника. 2022. №9. С. 53-56. DOI 10.26160/2541-8637-2022-9-53-56.
13. Центровая разжимная оправка: пат. 175625 У1 Российская Федерация. № 2017104920 / Н.Н. Бабич, Д.С. Блинов, В.А. Жигунова [и др.]; заявл. 16.02.17; опубл. 12.12.17.
14. Гибкая автоматизированная система базирования: пат. 2495738 С1 Российская Федерация. № 2012103484/02 / И.В. Вайнштейн, Б.Н. Малахов, М.М. Стебулянин [и др.]; заявл. 02.02.12; опубл. 20.10.13.
15. Устройство для закрепления тонкостенной нежесткой детали при обработке: пат. 2620523 Российская Федерация. № 2015147545 / Д. В. Быканов, М. Н. Невмержицкий; заявл. 06.11.15; опубл. 26.05.17.
16. Погудин С.А., Сивцев Н.С., Бажин А.Г. Применение опорных модулей для обеспечения точности нежестких деталей сложного профиля при фрезеровании // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. 2019. Т. 22. №4. С. 27-37. DOI 10.22213/2413-1172-2019-4-27-37.
17. Белов Н.В., Воронова Л.И. Система удаленного управления промышленным манипулятором KUKA // Автоматизация в промышленности. 2023. №12. С. 51-54. DOI 10.25728/avtprom.2023.12.09.
18. Lubimyi N., Chetverikov B., Chepchurov M., Ivan O. A method of determination of average plane of taps of pipes by a triangulation method using an anthropomorphic robot. IOP Conference Series [Электронный ресурс]: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 709. P. 1-8. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/709/4/044049>
19. Glagolev S., Shevtsova A., Shekhvotsova S. Basis for application of new-generation anti-icing materials as an efficient way to reduce the accident rate on roads in winter // Transportation Research Procedia. Vol. 36. Saint Petersburg: Elsevier B.V. 2018. P. 193-198. DOI 10.1016/j.trpro.2018.12.063.
20. Новиков А.Н., Шевцова А.Г. Безопасное и эффективное управление транспортными потоками в городской транспортной системе. Москва: Академия, 2022. 205 с.

**Любимый Николай Сергеевич**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Адрес: 308036, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, 46

Доцент кафедры «Подъёмно-транспортные и дорожные машины»

E-mail: nslubim@bk.ru

**Четвериков Борис Сергеевич**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Адрес: 308036, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова, 46

Доцент кафедры «Подъёмно-транспортные и дорожные машины»

E-mail: await\_rescue@mail.ru

**Топилин Иван Владимирович**

Донской государственный технический университет

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

К.т.н., доцент, декан факультета «Дорожно-транспортный»

E-mail: ivan\_top@mail.ru

**Феофилова Анастасия Александровна**

Донской государственный технический университет

Адрес: 344000 г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

Доцент кафедры Организация перевозок и дорожного движения

E-mail: feofilowa@mail.ru

---

N.S. LUBIMYI, B.S. CHETVERIKOV, I.V. TOPILIN, A.A. FEOFILOVA

## **TECHNOLOGICAL SOLUTION FOR PROCESSING SOFT PARTS OF UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS**

**Abstract.** In the production of a wide range of unmanned aerial systems (UAS), the weight of the components of the product is of particular importance. For this purpose, manufacturers resort to the use of various composite materials, plastics, and aluminum alloys in their designs. UAS parts often have a complex shape, justified by the need for a balanced arrangement of components relative to each other, the presence of a large number of mounting holes and surfaces, and a streamlined shape of the products. Thus, the parts used in the manufacture of UAS have, on the one hand, a complex shape, and on the other, taking into account the properties of the material, low rigidity in certain directions, since these parts are made thin-walled. The study provides a technological solution that allows for the mechanical processing of a non-rigid UAS part using automated production tools. The necessary method for calculating the fastening forces is provided, taking into account the proposed method of fastening a non-rigid workpiece on the developed tooling. The process of operation of the developed tooling and its configuration are also described. The technological equipment for making holes in a non-rigid part of the proposed design will improve the accuracy of processing during mechanical processing by milling, due to the reliable fixation of the workpiece by depriving it of all six degrees of freedom when exposed to cutting forces.

**Keywords:** composite, polymer, processing, milling, rigidity, robot, automation, basing, precision

## BIBLIOGRAPHY

1. Roslavitseva S.A., ZHulev A.I., TSvetkov D.A. Primenenie bespilotnykh letatel'nykh apparatov (bespilotnykh vozdushnykh sudov) dlya akaritsidnykh obrabotok // Pest-Menedzhment. 2021. №4(120). S. 22-26. DOI 10.25732/PM.2021.120.4.004.
2. Ivanets V.M., Luk'yanchik V. N., Mel'nik V. N. Osobennosti upravleniya bespilotnymi letatel'nyimi apparatami v sostave bespilotnoy intellektual'noy aviationsionnoy sistemy na osnove tekhnologiy iskusstvennogo intellekta // Voennaya mysl'. 2022. №9. S. 100-109.
3. Fayzullin N.N. Ispol'zovanie bespilotnykh letatel'nykh apparatov i bespilotnykh apparatov v rabote silovykh struktur v Rossii i zarubezhnykh stranakh // Evraziyskiy yuridicheskiy zhurnal. 2019. №9(136). S. 289-291.
4. YUdin D.A., Gorshkova N.G., Knysh A.S., Frolov S.V. Raspoznavanie transportnykh sredstv i registratsiya ikh traektorii dvizheniya na posledovatel'nosti izobrazheniy // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova. 2016. №6. S. 139-148.
5. Naumov A.E., YUdin D.A., Dolzhenko A.V. Sovershenstvovanie tekhnologii provedeniya stroitel'no-tehnicheskikh ekspertiz s ispol'zovaniem apparatno-programmnogo kompleksa avtomatizirovannoy defektoskopii // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova. 2019. №4. S. 61- 69. DOI 10.34031/article\_5cb824d26344e7.45899508.
6. Tuzhilin S.P., Lopatina YU.A., Sviridov A.S. Pererabotka polimernykh materialov metodom svobodnogo lit'ya v vakuum // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova. 2020. №7. S. 93-100. DOI 10.34031/2071-7318-2020-5-7-93-100.
7. Lyubimyy N.S., Pol'shin A.A., Tikhonov A.A. [i dr.] Issledovanie effektivnosti raboty konformnykh kanalov okhlazhdeniya kompozitnykh press-form // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova. 2022. №7. S. 101-109. DOI 10.34031/2071-7318-2022-7-7-101-109.
8. Petrova G.N., Beyder E.YA. Konstruktionskiye materialy na osnove armirovannykh termoplastov // Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal. 2010. T. 54. №1. S. 34-40.
9. Ilyukhin YU.V., Kolesnichenko R.V. Analiz tochnosti dvizheniy pri frezerovaniyu robotami s pretsizionnymi dvukhsvigatel'nyimi privodami // STIN. 2019. №7. S. 18-21.
10. Aliev R., Guseynov R. Frezernye roboty - vzglyad na tekhnicheskoe sostoyanie // Avtomatizatsiya i sovremennoye tekhnologii. 2011. №11. S. 11-18.
11. SHvandt A., Yushchenko A.S. Issledovanie vozmozhnostey promyshlennogo manipulyatsionnogo robota pri vypolnenii slozhnykh tekhnologicheskikh operatsiy // Ekstremal'naya robototekhnika. 2013. T. 1. №1. S. 189-198.
12. Kulebyakin A.A., Molchanov R.A., Porsev K.I. Proektirovaniye obrabotki dlya frezernogo robota v srede SprutCAM Robot v.14 // Mekhatronika, avtomatika i robototekhnika. 2022. №9. S. 53-56. DOI 10.26160/2541-8637-2022-9-53-56.
13. Tsentravaya razzhimnaya opravka: pat. 175625 U1 Rossiyskaya Federatsiya. № 2017104920 / N.N. Babich, D.S. Blinov, V.A. ZHigunova [i dr.]; zayavl. 16.02.17; opubl. 12.12.17.
14. Gibkaya avtomatizirovannaya sistema bazirovaniya: pat. 2495738 C1 Rossiyskaya Federatsiya. № 2012103484/02 / I.V. Vaynshteyn, B.N. Malakhov, M.M. Stebulyanin [i dr.]; zayavl. 02.02.12; opubl. 20.10.13.
15. Ustroystvo dlya zakrepleniya tonkostennoy nezhestkoy detal' pri obrabotke: pat. 2620523 Rossiyskaya Federatsiya. № 2015147545 / D. V. Bykanov, M. N. Nevmerzhitskiy; zayavl. 06.11.15; opubl. 26.05.17.
16. Pogudin S.A., Sivtsev N.S., Bazhin A.G. Primenenie opornykh moduley dlya obespecheniya tochnosti nezhestkikh detaley slozhnogo profilya pri frezerovanii // Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova. 2019. T. 22. №4. S. 27-37. DOI 10.22213/2413-1172-2019-4-27-37.
17. Belov N.V., Voronova L.I. Sistema udalennogo upravleniya promyshlennym manipulyatorom KUKA // Avtomatizatsiya v promyshlennosti. 2023. №12. S. 51-54. DOI 10.25728/avtrom.2023.12.09.
18. Lubimyi N., Chetverikov B., Chepchurov M., Ivan O. A method of determination of average plane of taps of pipes by a triangulation method using an anthropomorphic robot. IOP Conference Series [Elektronnyy resurs]: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 709. P. 1-8. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/709/4/044049>
19. Glagolev S., Shevtsova A., Shekhvtssova S. Basis for application of new-generation anti-icing materials as an efficient way to reduce the accident rate on roads in winter // Transportation Research Procedia. Vol. 36. Saint Petersburg: Elsevier B.V. 2018. P. 193-198. DOI 10.1016/j.trpro.2018.12.063.
20. Novikov A.N., Shevtsova A.G. Bezopasnoe i effektivnoe upravlenie transportnymi potokami v gorodskoy transportnoy sisteme. Moskva: Akademiya, 2022. 205 s.

**Lubimyi Nikolai Sergeevich**

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

**Chetverikov Boris Sergeevich**

Belgorod State Technological University  
Russia, 308012, Russia, Belgorod, Kostyukova st., 46  
Associate Professor of the Department of Hoisting and  
Transportation and Road Machinery  
E-mail: await\_rescue@mail.ru

**Topilin Ivan Vladimirovich**

Don State Technical University, Rostov-on-Don  
Address: 344011, Russia, Rostov-on-Don  
Candidate of Technical Sciences  
E-mail: ivan\_top@mail.ru

**Feofilova Anastasia Alexandrovna**

Don State Technical University  
Address: 344000, Russia, Rostov-on-Don  
Associate Professor of Traffic management and transportation department, DSTU  
E-mail: feofilowa@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 присыпать 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 ссылайтесь 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 вверху - 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 расположено 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 строкой, 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 расположено 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 символадается с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формуле. Единицы измерения даются в соответствии с Международной системой единиц СИ.

Переносить формулы на следующую строку допускается только на знаках выполняемых операций, причем знак в начале следующей строки повторяют.

### **Пример оформления формулы в тексте**

$$q_1 = (\alpha - 1)^2 (1 + \frac{1}{2\alpha})/d, \quad (1)$$

где  $\alpha = 1 + 2\alpha/b$  - 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 таблицы 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](http://www.oreluniver.ru).  
E-mail: [info@oreluniver.ru](mailto: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](http://www.oreluniver.ru).  
E-mail: [srmostu@mail.ru](mailto: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 27.11.2024 г.  
Дата выхода в свет 16.12.2024 г.  
Формат 70x108/16. Усл. печ. л. 9  
Цена свободная. Тираж 500 экз.  
Заказ № 277

Отпечатано с готового оригинал-макета  
на полиграфической базе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»  
302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95