



МАТЕРИАЛЫ

XVIII ВСЕРОССИЙСКОЙ
МУЛЬТИКОНФЕРЕНЦИИ

ПО ПРОБЛЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ

(МКПУ — 2025)

ТОМ 4

УПРАВЛЕНИЕ
В ПЕРСПЕКТИВНЫХ
НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ
СИСТЕМАХ

ТУЛА, 15 — 20 СЕНТЯБРЯ 2025

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Российская академия наук

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»
ПИШ «Тульская инженерная школа «Интеллектуальные
оборонные системы»

ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный
технический университет (МАДИ)»

ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана»

НПО Специальных материалов
Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ ВО КФУ
ФАУ Центральный аэрогидродинамический институт
им. профессора Н.Е. Жуковского

ХVIII ВСЕРОССИЙСКАЯ МУЛЬТИКОНФЕРЕНЦИЯ ПО ПРОБЛЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ (МКПУ–2025)

(15 сентября – 20 сентября 2025 г.)

Том 4

***УПРАВЛЕНИЕ В ПЕРСПЕКТИВНЫХ
НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ
СИСТЕМАХ (УПНТС–2025)***

Тула
Издательство ТулГУ
2025

УДК 629.3-52(062)
ББК 39.12-5-05я431
У67

Редколлегия

член-корр. РАН В.М. Приходько – ответственный редактор
член-корр. РАН Г.О. Котиев; д-р техн. наук
Н.А. Филиппова; д-р техн. наук И.Е. Агуреев; д-р техн. наук
В.М. Власов; канд. техн. наук И.Ф. Гумеров; д-р техн. наук
С.В. Жанказиев; д-р техн. наук В.В. Зырянов; д-р техн. наук
Д.В. Капский; д-р техн. наук Ю.Н. Ризаева; академик РАН
В.И. Колесников; д-р техн. наук О.Н. Ларин; академик РАН
М.П. Лебедев; д-р техн. наук М.В. Грязнов; д-р техн. наук
И.Г. Малыгин; д-р техн. наук С.В. Назаренко; член-корр.
РАН И. Н. Розенберг; д-р техн. наук А.И. Солодкий; член-
корр. РАН В.А. Шурыгин; канд. тех. наук А.Н. Блохин;
д-р техн. наук И. П. Энглези;

У67 XVIII Всероссийская мультikonференция по пробле-
мам управления (МКПУ–2025) : материалы мультikonфе-
ренции (Тула, 15 сентября – 20 сентября 2025 г.) : в 4 т. Т. 4
Управление в перспективных наземных транспортных систе-
мах (УПНТС-2025) / под ред. член-корр. РАН
В.М. Приходько. — Тула : Изд-во ТулГУ, 2025. — 286 с.

ISBN 978-5-7679-5716-3
ISBN 978-5-7679-5712-5 (Т. 4)

В Томе 4 материалов XVIII Всероссийской мультikonфе-
ренции по проблемам управления МКПУ-2025 представ-
лены материалы докладов локальной научно-технической
конференции «Управление в перспективных наземных
транспортных системах (УПНТС-2025)».

При содействии Научного совета РАН по инновационным
проблемам транспорта и логистики

УДК 629.3-52(062)
ББК 39.12-5-05я431

ISBN978-5-7679-5716-3
ISBN 978-5-7679-5712-5 (Т. 4)

© Авторы тезисов, 2025
© Издательство ТулГУ, 2025

ПРЕДИСЛОВИЕ

Проблемы управления актуальны практически для всех сфер человеческой деятельности. Создание и развитие современных авиационно-космических комплексов, робототехнических, мехатронных и транспортных систем, распределенных и сетевых структур, автоматизированных производств, социально-экономических систем и т.д., работающих в условиях неопределенности и комплексного воздействия множества факторов, включая человеческий, требует решения сложных задач управления такими системами. Поэтому основной целью XVIII Всероссийской мультikonференции по проблемам управления (МКПУ-2025) является объединение усилий российских ученых для решения актуальных научно-технических проблем в области теории и процессов управления, а также их практического использования в ключевых отраслях экономики России.

Проведение XVIII Всероссийской мультikonференции по проблемам управления позволит:

- российским ученым и специалистам представить широкой научной общественности результаты своих фундаментальных, поисковых и прикладных исследований в области теории и систем управления;
- выявить основные направления фундаментальных и прикладных исследований по проблемам управления, обсудить сценарные прогнозы их дальнейшего развития;
- обеспечить обмен научными результатами между различными научными школами России;
- передать молодым ученым накопленные современной наукой знания в области теоретических и практических аспектов процессов управления;
- выработать рекомендации по повышению интеллектуализации и конкурентоспособности создаваемых в России образцов техники;
- обсудить проблемы образования и подготовки кадров высшей квалификации в области теории и процессов управления;
- издать материалы и лучшие доклады участников конференции для ознакомления широкой научной общественности и повышения уровня подготовки специалистов в высшей школе в данной предметной области.

Научная программа конференции объединяет широкий круг тематических направлений в рамках пяти локальных научно-технических конференций:

- **Робототехника и мехатроника (РиМ-2025)**, председатель Программного комитета – академик РАН Ф.Л. Черноусько, сопредседатель – академик РАН И.А. Каляев;
- **Управление в распределенных и сетевых системах (УРСС-2025)**, председатель Программного комитета – академик РАН И.А. Каляев, сопредседатель – академик РАН Д.А. Новиков;
- **Управление аэрокосмическими системами (УАКС-2025)**, председатель Программного комитета – академик РАН С.Ю. Желтов, сопредседатель – член-корреспондент РАН К.И. Сыпало;
- **Управление в перспективных наземных транспортных системах (УПНТС-2025)**, председатель Программного комитета – член-корреспондент РАН В.М. Приходько, сопредседатель – член-корреспондент РАН Г.О. Котиев;
- **IV Всероссийская научно-техническая конференция им. Д.В. Коноплева «Перспективы создания и применения высокоточного оружия» (ПСВО-2025)**, председатель Программного комитета – член-корреспондент РАН Е.Н. Семашкин, сопредседатель – д-р техн. наук О.А. Кравченко.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	13
ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ	14
<i>Приходько В.М., Филиппова Н.А., Власов В.М.</i> МЕТОДОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СЕВЕР- НОГО ЗАВОЗА СОЦИАЛЬНО ЗНАЧИМЫХ ГРУЗОВ	15
<u>Котиев Г.О.</u> , Прокофьев Д.В. МЕТОДОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ БЕЗЭКИПАЖНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАЗЕМНО-ВОЗДУШНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ	22
<i>Шурыгин В.А.</i> ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ПЛАТФОРМ НА ОСНОВЕ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАЗНОРОДНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ	25
<i>Жанказиев С.В., Замыцких А.В.</i> УПРАВЛЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ВАТС С УЧЕТОМ ФАКТОРОВ БЕЗОПАСНОСТИ И СЕРВИСНОСТИ	28
РАЗДЕЛ 1. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ ТРАНСПОРТНЫМИ ПРОЦЕССАМИ И СРЕДСТВАМИ	32
<i>Колесников В.И., Кудряков О.В., Колесников И.В., Новиков Е.С., Воропаев А.И., Политыко К.Н., Марусин П.С.</i> ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ НОВЫХ ВИДОВ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ	33
<i>Цзюй Ичэнь, Лю Исинь, Кулик А.А.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЦИАЛЬНОГО ВНИМАНИЯ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ В ПЛОТНОМ ТРАФИКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ SA-MDP	41

Малыгин И.Г., Цыганов В.В., Савушкин С.А., Лемешкова А.В. ПРИНЦИПЫ НАУЧНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ КРУПНОМАС- ШТАБНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЕКТОВ	44
Куликов А.В., Трофименко Ю.В. МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК ПассажиРОВ В КРУПНОМ ГОРОДЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	47
Абакаров А.А., Филиппова Н.А., Гечекбаев Ш.Д., Игитов Ш.М., Пирмагомедов И.Р. ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ОБЛАСТИ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА РЕСПУБЛИКИ ДАГЕСТАН	52
Пугачев И.Н., Григоров Д.Е., Шешера Н.Г. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ ТРАНСПОРТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ТРАВМАТИЗМА ПРИ ДТП	59
Пугачев И.Н., Григоров Д.Е., Шешера Н.Г. ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЗАГРУЗКИ ВОДИТЕЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА	63
Подзоров А.В., Филиппова Н.А. СТРУКТУРА УПРАВЛЕНИЯ ВЕДОМСТВЕННЫМ АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ НА ОСНОВЕ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ	69
Воробьев А.И., Маркаров А.И. РАЗРАБОТКА СЦЕНАРИЕВ ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИИ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ АКТИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ V2X И КООПЕРАТИВНЫХ ИТС, И ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ЭЛЕМЕНТАМИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ	76
Галицкая А.В., Галузин В.А. РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПЛАНИРОВАНИЯ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ	78

Семенов В.Е., Каляев А.И. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СБОРКИ И АННОТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХ ВЫБОРОК ДЛЯ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ НА БАЗЕ ВИДЕОПОТОКА	81
Матюнина А.И., Ларин О.Н. ЦИФРОВОЕ РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ КОНТРОЛЯ ЗАГРУЗКИ ВОЗДУШНОГО СУДНА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ГРУЗОВЫХ АВИАПЕРЕВОЗОК	84
РАЗДЕЛ 2. БОРТОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ	88
Котиев Г.О., Косицын Б.Б., Газизуллин Р.Л. АДАПТИВНЫЙ ЗАКОН УПРАВЛЕНИЯ ПОДВОДИМОЙ МОЩНОСТЬЮ К ДВИЖИТЕЛЮ КОЛЕСНОЙ МАШИНЫ	89
Хаолин Инь, Решмин С.А., Васенин С.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПЛОСКОЙ ДВУХМАССОВОЙ СИСТЕМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДЕЛИ КЕЛЬВИНА-ФОЙГТА	93
Келлер А.В., Климов А.В., Шадрин С.С., Попов А.В. МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИОННОГО СИНТЕЗА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИКОЙ ДВИЖЕНИЯ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ	96
Оганян Э.А., Хмелев Р.Н. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ КОЛЕСНЫХ САМОХОДНЫХ МАШИН	99
Гойдин О.П., Косицын Б.Б., Стадухин А.А. ЗАКОН УПРАВЛЕНИЯ СОЧЛЕНЕННЫМ КОЛЕСНЫМ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ СО СЛОЖНЫМ ПРОФИЛЕМ	102
Петров Д.Н., Алешко Р.А., Шошина К.В. ОБЗОР ЭТАПОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ АППАРАТНОЙ ЧАСТИ БПЛА	107

Котиев Г.О., Бузунов Н.В. ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ БОРТОВЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ	109
Илюхин А.Н. АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ТРАНСПОРТА	112
Шурыгин В.А., Серов В.А., Устинов С.А. АРХИТЕКТУРА БОРТОВОЙ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВ- ЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ СПЕЦИАЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА	115
Сарбаев Д.С., Балакина Е.В., Денисенко И.К. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ БОКОВОЙ РЕАКЦИОПОР- НОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА УПРАВЛЯЕМОЕ КОЛЕСО ДЛЯ ЗАДАЧ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТ- НОГО СРЕДСТВА С АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕ- МОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ТРАЕКТОРИИ	119
Епифанов О.К., Гречушкин Ю.В. МЕТОД БЕЗДАТЧИКОВОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАЛИЧИЯ ИЛИ ОТСУТСТВИЯ ГРУЗА В КАНАЛЕ УПРАВЛЕНИЯ МАГ- НИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГРУЗОЗАХВАТНОГО УСТРОЙ- СТВА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА	122
Горелов В.А., Котиев Г.О., Шкарупелов Е.С. ЗАКОН ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ МНОГО- СТУПЕНЧАТОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИС- СИЕЙ ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ	126
Зыбин П.В., Косицын Б.Б. МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ЗАКОНА УПРАВЛЕНИЯ ДВИ- ЖЕНИЕМ ГУСЕНИЧНОЙ МАШИНЫ С ТРЕХПОТОЧНОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ	129
РАЗДЕЛ 3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА ЦИФРОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ НАЗЕМНЫМ ТРАНСПОРТОМ	138

Боковня Д.Р., Куренков П.В., Преображенский Д.А. ВНЕДРЕНИЕ КРИПТОВАЛЮТЫ КАК СПОСОБА ОПЛАТЫ ПРОЕЗДА НА НАЗЕМНОМ ТРАНСПОРТЕ: ПЕРСПЕКТИВЫ И ВЫЗОВЫ	139
Капский Д.В., Кузьменко В.Н., Филиппова Н.А., Коржова А.В. КЕЙС АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНО-ПЕ- ШЕХОДНЫМИ ПОТОКАМИ С УЧЕТОМ ДВИЖЕНИЯ ЖЕ- ЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПОЕЗДОВ В ЗОНЕ ПЕРЕКРЕСТКА	142
Яшина М.В., Таташев А.Г., Кудряшов М.А. ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПАССАЖИРООБ- МЕНА ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНОГО УЗЛА НА ПРИ- МЕРЕ Г. МОСКВЫ	146
Полешкина И.О., Ченцов А.А., Ченцов А.Г., Ченцов П.А. ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТОВ ДВИЖЕНИЯ БЕСПИЛОТ- НЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ДОСТАВКЕ ГРУ- ЗОВ И ВЫПОЛНЕНИИ МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ ПОЖА- РОВ	149
Неусыпин К.А., Лю Исинь, Цзюй Ичэнь, Селезнева М.С., Фу Ли ОТСЛЕЖИВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ С ПОМОЩЬЮ МНОГО- МАСШТАБНЫХ НЕПРЕРЫВНЫХ СЕТЕЙ АТТРАКТОРОВ	153
Колесников М.В., Задорожний В.М., Бакалов М.В. РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕ- НИЯ ВАГОНПОТОКОВ НА ПРИНЦИПАХ ПОНЯТИЯ ТОЧКИ ФЕРМА-ТОРРИЧЕЛИ	156
Колесников М.В., Задорожний В.М., Бакалов М.В., Коротеева Т.Н. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОДВИЖЕНИЯ ВАГОНПОТОКОВ: КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ И ПРИНЦИПЫ СКВОЗНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ	159
Храпова Н.И. НЕЧЁТКИЙ МЕТОД РАСЧЁТА ВРЕМЕННЫХ ИНТЕРВАЛОВ РАБОТЫ СИГНАЛОВ СВЕТОФОРА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ НАЗЕМНЫМ ТРАНСПОРТОМ	162

<i>Трофименко Ю.В., Рунец Р.С.</i> НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ ПОТЕРИ ВРЕМЕНИ И КАЧЕСТВА УДОБСТВА ДВИЖЕНИЯ МОТОРИ- ЗОВАННЫХ ТУРИСТОВ НА ОПОРНОЙ ДОРОЖНОЙ СЕТИ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ	165
<i>Куренков П.В., Борисов Д.С., Шелков Г.С.</i> НАГРУЗКА НА ИНФРАСТРУКТУРУ СЕТИ РЖД: ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ, АНАЛИЗ И ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ	169
<i>Куренков П.В., Мизиев М.М., Черкасова Д.О.</i> ДИНАМИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КОНТЕЙНЕР- НЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗОК В РОССИИ НА НАЧАЛО 2025 Г.	174
<i>Мокрецов Н.А., Стадухин А.А.</i> ОБУЧЕНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМ- ПЛЕКСА НАТУРНО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВА- НИЯ	180
РАЗДЕЛ 4. ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИ ПЕРЕХОДЕ К БЕЗОПАСНОМУ НИЗКОУГЛЕРОДНОМУ РАЗВИТИЮ ТРАНСПОРТА	184
<i>Трофименко Ю.В.</i> НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ УЧЕТА ГУМАНИ- ТАРНЫХ И СОЦИАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ ТРАНСПОРТ- НОЙ ПОЛИТИКИ ДЛЯ НИЗКОУГЛЕРОДНОГО РАЗВИТИЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ГОРОД- СКИХ АГЛОМЕРАЦИЙ	185
<i>Блохин А.Н., Гринкевич Н.А., Калмыков В.К.</i> СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО МНОГОКО- ЛЕСНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ FCEV	188
<i>Энглез И.П.</i> ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ IN-MEMORY КОМПЬЮТИНГ АВ- ТОНОМНОГО ТРАНСПОРТА	191

<i>Алероев М.Т., Менькина У.О., Таташев А.Г., Яшина М.В.</i> ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ С ПАМЯТЬЮ ПО РЕЗУЛЬТА- ТАМ ИСПЫТАНИЙ БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ	196
<i>Васильев Ю.Э., Приходько В.М., Никитаев М.М., Малазони Г.Ш.</i> УЧЕТ СЕЗОННОСТИ ПОСТАВОК МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРО- ИЗВОДСТВА АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ	204
<i>Зырянов И.В., Мярин А.Н., Нифонтов К.Р., Васильев П.Ф., Ефимов Н.К., Реев В.Г., Тимофеев В.М.</i> ПРОЕКТ СОЗДАНИЯ ФЕДЕРАЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ «ТЕХНИКА НА ТЕРРИТОРИЯХ ЭКСТРЕМАЛЬНО ХОЛОДНОГО КЛИМАТА»	208
<i>Фазуллин Д.Д., Маврин Г.В., Корнилов С.В.</i> ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ БЕЗОПАСНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВ- НЫХ ЭЛЕМЕНТАХ	217
<i>Фефилов А.Н.</i> ТРАНСКОНТИНЕНТАЛЬНЫЙ ГИБРИДНЫЙ ЭСТАКАД- НЫЙ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТ «ВАЛЬС». МЕРЫ УКРЕПЛЕ- НИЯ ЭКОНОМИКИ И ЭКОЛОГИИ ТЕРРИТОРИЙ ЕВРАЗИИ	220
<i>Аникеев И.А.</i> МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ КО- ЛЕСНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ДВУХПОТОЧНОЙ БЕССТУПЕНЧА- ТОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИИ	228
<i>Филиппова Н.А., Мамедов М.Р., Гринкевич Н.А., Калмыков В.К.</i> ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЭЛЕКТРИЧЕ- СКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА В ГОРОДАХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА	231
РАЗДЕЛ 5. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ КАК ИНСТРУМЕНТЫ ПОСТРОЕ- НИЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ	235

<i>Агуреев И.Е.</i> ПАТТЕРНЫ ТРАНСПОРТНОГО ПОВЕДЕНИЯ ИНДИВИДОВ	236
<i>Власов В.М., Филиппова Н.А.</i> РОБОТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА ГОРОДСКОГО ПАССАЖИР- СКОГО ТРАНСПОРТА	239
<i>Куренков П.В., Сироткин М.А., Богачук И.С.</i> ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК В АВТОТРАНСПОРТЕ	242
<i>Владимиров Н.А., Шафорост А.Н., Анцев В.Ю., Горынин А.Д.</i> ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ПОТО- КАМИ ГРУЗОПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК В ТРАНС- ПОРТНОЙ КОМПАНИИ	246
<i>Грязнов М.В., Адувалин А.А., Пыталева О.А.</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАМВАЯМИ В СЛУЧАЕ АВАРИЙНОЙ ОСТАНОВКИ ДВИ- ЖЕНИЯ	249
<i>Демьянов Д.Н., Карабцев В.С., Нуртдинов Н.Ф.</i> УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ ВЫСОКОАВТОМАТИЗИРОВА- ННОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДОРОЖНОЙ ОБСТА- НОВКИ	252
<i>Дьяков Ф.К.</i> НЕОБХОДИМОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ КОМПЛЕКСА ДОВО- ДОЧНЫХ АДАПТИВНЫХ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМ AD- VANCED DRIVER ASSISTANCE SYSTEMS (ADAS) 2го УРОВНЯ В ХОДЕ ВСЕГО ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА МО- ДЕЛИ	256
<i>Воробьев А.И.</i> РАЗРАБОТКА ВЫСОКОАВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ СРЕДНЕТОННАЖНЫХ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК В ВЫСОКОКОНФЛИКТНОЙ ТРАНСПОРТНО-ДОРОЖНОЙ СРЕДЕ	258

<i>Балакина Е.В., Сергиенко И.В.</i> ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВА- НИЯ ТРАЕКТОРИИ КОЛЕСНОГО НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ	261
<i>Богумил В.Н., Касимов Д.Э., Андреева М.Д.</i> РАЗРАБОТКА ДИНАМИЧЕСКОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ ПО ЗАДАННОМУ МАРШРУТУ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА С РОБОТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ	265
<i>Фирсова С.Ю., Куликов А.В.</i> ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗОК СТРОИТЕЛЬНЫХ ГРУЗОВ НА ЖИЛИЩНО-ГРАЖДАНСКИЕ ОБЪЕКТЫ	273
<i>Франц А.В., Филиппова Н.А.</i> МОНИТОРИНГ ЦИФРОВОЙ ИНФРОЕСТРУКТУРЫ ПО ДОСТАВКЕ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА ПО АВТОЗИМНИКАМ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ НАЗЕМНЫМ ТРАНСПОРТОМ	276
АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ	281

ВВЕДЕНИЕ

Том 4 материалов XVIII Мультиконференции по проблемам управления (МКПУ-2025) включает тезисы докладов локальной научно-технической конференции «Управление в перспективных наземных транспортных системах» (УПНТС-2025).

Современный уровень развития наземных транспортных систем характеризуется поступательным внедрением новых технологий, которые предъявляют самые высокие требования к процессам управления. При этом, само понятие управления следует рассматривать с точки зрения не столько менеджмента, сколько классической теории управления. Это означает, что объекты исследования транспортной науки – это сложные системы, зачастую проявляющие нелинейные свойства. Функционирование таких систем, естественно, может приводить к многочисленным бифуркациям, множественным сценариям поведения, неустойчивостям и катастрофам. Для систем управления требуется совершенно уникальный набор средств, позволяющий сохранять для управляемых систем заданные или, по крайней мере, прогнозируемые свойства в широком диапазоне параметров состояния.

Практика развития наземных транспортных систем показывает серьезную востребованность применения искусственного интеллекта. Эта область во всех смыслах является критическим направлением развития науки в целом. От исследователей требуются не только широчайшие знания многих дисциплин, но и высокий уровень ответственности и моральных качеств. Для наземного транспорта, если рассматривать его как макроскопическую систему, обладающую множеством элементов со стохастическим поведением (информационные, материальные, транспортные потоки), искусственный интеллект и его практические алгоритмы, направленные на оптимизацию процессов, создают условия для высвобождения труда множества работников, специалистов, руководителей. В то же время, необходимо формирование совершенно нового горизонта исследований, дающего ясную картину пределов подобной оптимизации в интересах социума и обеспечивающего аспекты его подлинной безопасности.

Конкретные системы, отдельные типы транспортных средств и процессы управления ими получают от применения интеллектуального управления целый ряд неоспоримых преимуществ, повышающих производительность труда на транспорте. Скорость принятия решений, устойчивость работы при возникновении аварийных ситуаций, возможности поиска и нахождения траекторий для выхода управляемых систем в заданные состояния – лишь немногие из таких качеств.

В пленарных и секционных докладах, представленных на локальной конференции УПНТС -2025, рассмотрены теоретические и практические задачи управления автономными транспортными средствами, в том числе с применением искусственного интеллекта. Особую часть составляют работы, посвященные транспортному обслуживанию Арктической зоны Российской Федерации, внедрение интеллектуальных транспортных систем, а также создание экологически чистого транспорта будущего.

Доклады, представленные на локальную конференцию УПНТС -2025, сгруппированы по пяти секциям:

- Интеллектуальные транспортные системы (ИТС) и технологии в управлении транспортными процессами и средствами;
- Бортовые информационно-управляющие системы наземных транспортно-технологических средств;
- Моделирование функционирования и мониторинга цифровой инфраструктуры в системах управления наземным транспортом;
- Проблемы управления при переходе к безопасному низкоуглеродному развитию транспорта;
- Интеллектуализация и цифровая трансформация как инструменты построения транспортно-логистических систем.

Доклады, вопросы и обсуждения, которые будут проведены на научно-технической конференции «Управление в перспективных наземных транспортных системах» (УПНТС-2025), будут способствовать развитию и укреплению связей между различными научными школами, академической и вузовской науки, а также предприятиями и организациями реального сектора экономики, выявить перспективные направления научных исследований и разработок, внедрение которых обеспечат научный и технологический суверенитет страны.

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

МЕТОДОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СЕВЕРНОГО ЗАВОЗА СОЦИАЛЬНО ЗНАЧИМЫХ ГРУЗОВ

¹Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), г. Москва, imen@bk.ru, vmv@transnavi.ru

*²Федеральный исследовательский центр Якутский
научный центр СО РАН, г. Якутск, imen@bk.ru*

Введение

Формирование методологии создания цифровой платформы транспортно-логистической системы северного завоза социально значимых грузов первой необходимости в регионы Арктики и северные регионы России автомобильным транспортом обеспечит оперативное его взаимодействие с другими видами транспорта, мониторинг автотранспортных средств для каждой сценарии перевозок и формирование объективных отчетных данных на основе внедрения электронного документооборота.

Необходимым условием создания цифровой платформы транспортно-логистической системы является использование современных средств мобильной связи, спутниковой навигации, геоинформатики, вычислительной техники. Это повысит эффективность управления производственно-хозяйственной деятельностью, надежность транспортно-технологической системы, снизит риски, возникающие в процессе организации перевозок грузов северного завоза.

Учитывая суровые условия эксплуатации и значительное влияние случайных факторов природного характера на функционирование транспорта, приоритетной задачей для выживания и эффективной работы людей в условиях Арктики является надежность и безопасность доставки грузов автомобильным транспортом.

Одним из главных отличий транспортной системы в Арктической зоне России является отсутствие постоянных транспортных путей на большей части данной территории, что приводит к необходимости использования временных транспортных путей для доставки грузов северного завоза. Временные транспортные пути могут использоваться только в течение небольшого периода времени года. Период летней навигации, когда можно использовать речной транспорт для доставки грузов в отдельные регионы, длится с июня по сентябрь. Перевозки грузов на остальной территории осуществляются автомобильным транспортом.

Однако, в летний период эксплуатации перевозки грузов автомобильным транспортом в большей части территории Арктической зоны РФ невозможны из-за неудовлетворительного состояния дорог. При этом в межсезонье возникают достаточно длительные (три-четыре месяца) периоды транспортной недоступности в отдельные районы. Поэтому основная часть грузов Северного завоза доставляется автомобильным транспортом в период зимней эксплуатации по зимникам, что оказывает значительное влияние на эффективность перевозочного процесса, поскольку длительность периода перевозок и объемы перевозок напрямую зависят от длительности периода работы зимников в том или ином регионе.

Решение проблемы повышения эффективности и надежности организации перевозок Северного завоза приводит к необходимости прогнозирования состояния временных транспортных путей (водного и автомобильного транспорта) на основе использования математических методов, разработанных учеными метеорологами с применением геоинформатики для проектирования и визуализации пространственных цифровых моделей трасс временных транспортных путей.

Были проведены научные исследования по тематике Северного завоза, которые проводились в несколько этапов.

На первом этапе были проанализированы и систематизированы информационные потребности пользователей. Основное внимание уделено автомобильному транспорту как связующему звену транспортно-технологической мультимодальной системы. В процессе анализа вся предметная область была описана с помощью некоторых обособленных сценариев, отражающих специфику взаимосвязанных транспортно-технологических процессов;

На втором этапе для каждого обособленного сценария было сформировано дерево процессов с выделением специализированных функций и подфункций вплоть до уровня элементарных задач обработки данных.

Для оценки длительности периода перевозок и объемов перевозок по временным транспортным путям (зимникам) в том или ином регионе были разработаны прогнозные модели на основе построения и использования «тригонометрической модели» Хромова. Данная модель описывает суточный ход дневных и ночных температур в районе зимника с помощью синусоидальной аппроксимации данных метеонаблюдений. Модель имеет вид:

$$y = a + b_1 \sin \alpha + b_2 \cos \alpha \quad (1)$$

Для построения тригонометрической модели необходимо найти значения ее коэффициентов по фактическим данным наблюдений о температуре воздуха.

Пусть по данным метеонаблюдений среднемесячные дневные температуры воздуха в заданном районе: y_1 (температура января), y_2 (температура февраля) и т.д. Приближенное значение среднемесячной температуры i -го месяца ($\bar{y}_i$), вычисляется по формуле:

$$\bar{y}_i = a + b_1 \sin \alpha_i + b_2 \cos \alpha_i \quad (2)$$

где α_i — угол, равный $i \cdot 30^\circ$, соответствующий середине i -го месяца, $i = 1, 2, \dots, 12$, и $\alpha_{12} = 0$,

Коэффициенты, входящие в уравнение (2) вычисляются по формулам:

$$a = \bar{y} = \frac{1}{12} \sum_{j=1}^{12} y_j \quad (3)$$

$$b_1 = \frac{1}{6} \sum_{j=1}^{12} y_j \sin \alpha_j \quad (4)$$

$$b_2 = \frac{1}{6} \sum_{j=1}^{12} y_j \cos \alpha_j \quad (5)$$

Для оценки прогностических возможностей модели Хромова по метеоданным за несколько лет, представленным специалистами Гидрометцентра, были построены тригонометрические модели для нескольких регионов Якутии. От специалистов, эксплуатирующих автозимники Якутии были получены фактические данные о сроках начала и окончания работы автозимников за этот же период времени. Проведенный сравнительный анализ фактических данных за несколько лет позволил выявить характерные элементы «тригонометрической модели», по которым можно прогнозировать сроки начала и окончания работы автозимника для транспортных средств с учетом их грузоподъемности. Был сделан вывод о том, что применение данного метода позволит значительно повысить точность прогноза по сравнению с традиционным подходом.

Анализ представленных Гидрометцентром России данных метеонаблюдений о ледовых явлениях на реках Сибири, собранных за несколько десятилетий, позволил выдвинуть гипотезу о возможности использования математического аппарата теории Марковских процессов для прогнозирования сроков начала и окончания ледовых явлений, которые могут быть использованы для оценки периодов навигации.

Сравнительный анализ прогнозов сроков начала и окончания ледовых явлений в различные годы, с помощью построенных моделей Марковских процессов, описывающих изменения сроков начала и окончания ледовых явлений, и полученных данных о фактических сроках начала и окончания ледовых явлений за этот же период в исследуемом регионе показал, что данный подход обеспечивает повышение точности прогнозирования периодов начала и окончания навигации на исследуемом участке реки по сравнению с существующим подходом.

В процессе исследований было показано, что в тех случаях, когда

доставка в регион грузов Северного завоза может осуществляться по нескольким альтернативным путям в рамках мультимодальных перевозок, разработана методика оценки максимальной пропускной способности используемого участка транспортной сети на основе применения известной теоремы Форда – Фалкерсона о максимальном потоке и минимальном разрезе. Формально транспортная сеть определяется как ориентированный нагруженный граф, в котором нагрузка интерпретируется как «пропускная способность». Доказательство теоремы строится на понятии «разрез графа» (сечение графа) под которым в теории графов понимается множество рёбер связного графа, удаление которых приводит к несвязному графу. Пусть в сети G задан разрез (S, T) . Пропускная способность разреза $c(S, T)$ – это сумма пропускных способностей ребер, пересекающих разрез в направлении от истока к стоку. Разрез называется минимальным, если он имеет минимальную пропускную способность из всех возможных разрезов. Форд и Фалкерсон в рамках доказательства теоремы сформулировали правило нахождения разреза с минимальной пропускной способностью и показали, что пропускная способность минимального разреза является максимально возможным потоком в рассматриваемой сети.

В рамках проведенных исследований показано, что дальнейшие этапы планирования перевозок должны осуществляться на основе построенных прогнозов и полученных оценок периодов доступности временных транспортных путей и объемов перевозимых грузов по ним с учетом возможностей местных перевозчиков автомобильного и водного транспорта. Такой подход объективно необходим для обеспечения эффективной логистики доставки грузов северного завоза на последнем этапе, т.е. от базовых стационарных пунктов до конечного потребителя, имеющего транспортную связь с центром только по временным транспортным путям

На третьем этапе было выполнено разделение задач обработки данных диспетчерской системой на регламентные (детерминированные) и оперативные.

Была описана последовательность прохождения составных частей маршрута автомобильного транспорта и действий диспетчерской системы, определяемых на основе обработки и использования навигационных данных, полученных от транспортных средств, использования подготовленных цифровых пространственных моделей объектов транспортной инфраструктуры, семантических данных объектов и элементов маршрутов перевозки. Описана последовательность элементов и действий автомобильного транспорта: прибытие в начальный пункт на пло-

щадку отстоя перед выполнением рейса; подача на технологическую площадку; отправление в рейс; прибытие на стоянку промежуточного пункта следования; убытие со стоянки промежуточного пункта следования; прибытие на стоянку конечного пункта.

Было показано, что для эффективного управления перевозками грузов Северного завоза диспетчерской системой необходимо создание и внедрение в регионе специализированного транспортно-логистического центра (ТЛЦ) на основе единой цифровой платформы транспортно-логистической системы.

В рамках ТЛЦ должна действовать Центральная диспетчерская служба (ЦДС), которая с использованием специализированного аппаратно-программного обеспечения должна контролировать движение автомобильного транспорта на маршрутах доставки грузов.

Перечень основных функций ТЛЦ:

1. Технологическая подготовка производства (создание справочников контрольных пунктов; разработка кодов, используемых в системе и т.д.).

2. Суточное и оперативное планирование (составление нарядов, подготовка оперативных заданий и т.д.).

3. Оперативный учет, контроль и анализ (учет выпуска транспортных средств на линию, контроль исполнения заданий, учет и контроль движения подвижного состава при организации мультимодальной перевозки грузов, корректировка хода транспортного процесса с использованием средств спутниковой навигации и мобильной связи с водителями и т.д.).

4. Анализ выполненной работы (формирование оперативных справок о состоянии транспортного процесса, отчетных форм о времени нахождения транспортных средств на пунктах перевалки грузов, о результатах транспортного процесса, о нарушениях в ходе транспортного процесса, вывод на печать отчетных форм о работе водителей и транспортных средств).

Заключение

Необходимой базой реализации задач развития транспортной системы Арктики и вхождения в цифровую экономику является повышение эффективности системы прогнозирования и планирования перевозок грузов Северного завоза в условиях нестабильной транспортной сети и суровых метеорологических условий.

Насущной необходимостью является развитие новых научных подходов к разработке методов планирования доставки грузов северного завоза, основанных на оценке пропускной способности региональной

транспортной сети, которая существенно зависит от сезона эксплуатации и климатических изменений. Данные методы планирования должны использовать алгоритмы математического моделирования, формирующие прогнозы изменения состояния и функционирования отдельных временных участков региональных транспортных сетей.

Указанные мероприятия позволяют обеспечить предоставление государственным и коммерческим структурам достоверных прогнозных данных для планирования и последующего контроля выполнения графиков доставки грузов конечному потребителю в районы Севера России и Арктики.

Внедрение транспортно-логистических центров (ТЛЦ) на основе цифровой платформы создаст организационные и технологические предпосылки для организации процессов северного завоза грузов на основе прогнозирования провозных способностей и периодов эксплуатации временных транспортных путей в летний и зимний периоды в арктической зоне России.

Основным операционным звеном в составе каждого ТЛЦ должна являться Центральная диспетчерская служба (ЦДС). Технологическими функциями ЦДС, основанными на современных методах математического моделирования, являются:

- прогнозирование состояния и пропускной способности временных транспортных путей (водного и автомобильного транспорта);
- оценка провозных возможностей местных перевозчиков автомобильного и водного транспорта в зависимости от сезона календарного года.

1. Цифровая технология, как один из методов повышения эффективности работы автозимников Арктических районов республики Саха (Якутия) / **А.Е. Иванова, А.М. Ишков, В.М. Власов, Н.А. Филиппова** // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 3-2 (82). – С. 137–143.
2. **Филиппова Н.А.** Навигационный контроль доставки грузов в условиях Севера России / Н.А. Филиппова, В.М. Беляев, В.М. Власов // Мир транспорта. – 2019. – № 4. – С. 126–130.
3. **Филиппова Н.А.** Методология повышения эффективности и надёжности транспортно-технологической мультимодальной системы Севера России / Н.А. Филиппова, В.М. Власов // Научный вестник МГТУ ГА. – 2019. – № 4. – С. 68–74.
4. **Филиппова Н.А.** Иерархические уровни управления мультимодальной транспортной системой для перевозки грузов северного завоза / Н.А. Филиппова, В.М. Власов // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета

- (МАДИ). – 2019. – № 4 (58). – С. 88–93.
5. **Филиппова Н.А.** О прогнозировании сроков навигации на основе цепей Маркова / Н.А. Филиппова, В.Н. Богумил, В.М. Беляев // Мир транспорта. – 2019. – Т. 17, № 2. – С. 16–25.
 6. **Филиппова Н.А.** Практическая апробация метода прогнозирования начала и окончания навигации для снижения риска недопоставки грузов северного завоза / Н.А. Филиппова, В.Н. Богумил // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2019. – № 3 (58). – С. 88–93.
 7. Оценка воздействия изменения климата и климатических рисков в транспортных системах: учебник / Д.В. Капский, Н.А. Филиппова, Ю.В. Трофименко, С.В. Богданович, Ю.В. Буртыль. – М., 2023.
 8. **Филиппова, Н.А.** Обеспечение эффективной и надежной доставки грузов северного завоза для районов Крайнего Севера и Арктической зоны России: монография // Н.А. Филиппова, В.М. Власов, В.Н. Богумил. – М.: Техполиграфцентр, 2019. – 224 с.
 9. **Форд Л.Р., Фалкерсон Д.Р.** Потоки в сетях. Пер. с англ. — М.: Мир, 1966. — 277 с.
 10. **Хромов С.П., Петросянец М.А.** Метеорология и климатология: Учебник. 5-е издание. М.: Изд. МГУ, 2001. 528 с.
 11. Features of Sustainable Development of the Arctic Region: Transport and Personnel Training / **N. Filippova, V. Vlasov, T. Melnikova, I. Spirin, Y. Grishaeva** // Transportation Research Procedia. Сер. "International Conference of Arctic Transport Accessibility: Networks and Systems". – 2021. – P. 179–183.
 12. Development of Transportation Management System With the Use of Ontological and Architectural Approaches To Ensure Trucking Reliability / **A. Dorofeev, N. Altukhova, N. Filippova, T. Pashkova, M. Ponomarev** // Sustainability. – 2020. – Vol. 12, N 20. – P. 1–16.
 13. Influence of Climatic Factors on the Implementation of Intelligent Transport System Technologies in the Regions of the Far North and the Arctic / **V. Prihodko, V. Vlasov, A. Tatashev, N. Filippova** // Transportation Research Procedia. Сер. "International Conference of Arctic Transport Accessibility: Networks and Systems". – 2021. – P. 495–501.

МЕТОДОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ БЕЗЭКИПАЖНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАЗЕМНО-ВОЗДУШНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

*¹Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ ВО
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»,*

*²Московский автомобильно-дорожный государственный технический
университет, г. Москва, imen@bk.ru*

Приобретаемый опыт в ходе специальной военной операции создает предпосылки для ускорения процесса оснащения войск робототехническими комплексами (РТК) различного базирования. В том числе внимание уделяется развитию наземных РТК с целью повышения эффективности и безопасности выполнения транспортных задач - чрезвычайно актуальной беспилотной доставки к переднему краю грузов (вооружения, боеприпасов, питания, медикаментов и др.) и эвакуации. В этой связи закономерным является появление (январь 2025 года) нового рода войск ВС РФ - «войска беспилотных систем».

В настоящее время наиболее остро стоят вопросы решения научных проблем создания и разработки научно обоснованных технических решений для РТК наземного применения с учетом изменения форм и методов ведения боевых действий воинскими частями и подразделениями вследствие массового применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Как правило, вдоль линии боевого соприкосновения формируются «серые» зоны - территории между соответствующим передним краем противоборствующих сторон глубиной до 20 км. Такое расстояние обусловлено досягаемостью современных средств дальнобойной артиллерии, танков, а также FPV «дронов-камикадзе», тактических барражирующих боеприпасов, ударных БПЛА самолетного и мультикоптерного типов. Формирование «серых» зон на контролируемой огнем территории делает практически невозможным продвижение подразделений, снабжение и эвакуацию, применение техники и, как следствие, приводит к снижению тактической подвижности войск.

Таким образом, существуют предпосылками для создания и развития высокоманевренных безэкипажных транспортных машин в составе наземно-воздушных робототехнических комплексов для применения в «серых» зонах по заранее подготовленным минными проходами.

Комплексирование средств наземного («ведомой» безэкипажной

транспортной машины под управлением оператора) и воздушного («ведущего») беспилотного летательного аппарата под управлением оператора) базирования в единый наземно-воздушный комплекс позволяет увеличить охват наблюдаемой территории для построения маршрута, увеличить радиус действия наземной безэкипажной машины, получить информацию об обстановке и угрозах в «ближнем небе».

Созданию наземно-воздушных РТК на базе существующих беспилотных аппаратов препятствует ряд технических проблем.

Первой и наиболее существенной проблемой является недостаточная подвижность существующих безэкипажных транспортных машин. Возникающие на пути естественные препятствия и инженерные сооружения приводят к практической невозможности дальнейшего движения.

Второй проблемой является уязвимость безэкипажных транспортных машин при движении в «серых» зонах даже на направлениях с заранее подготовленными минными проходами, когда на одно наземное транспортное средство может приходиться до двух и более «дронов-камикадзе» противника.

Решение проблемы уязвимости безэкипажных транспортных машин от средств поражения является неразрешимой средствами только радиоэлектронной борьбы, реализацией требований к стойкости к внешним воздействиям, в том числе противоминной стойкости, и снижения заметности.

Решение указанных проблем достигается кардинальным повышением подвижности наряду с реализацией нового для создаваемого класса безэкипажных транспортных машин эксплуатационного свойства – защитного маневрирования.

Маневрирование с поддержанием высокой скорости при сохранении безопасности движения (отсутствием неуправляемого заноса и опрокидывания, аварийных ударных перегрузок при движении по неровностям пути и преодоления препятствий) позволит уклоняться от средств поражения и существенно снизить уязвимость наземных безэкипажных машин. Высокоскоростное защитное маневрированием позволит совершать маневры различных типов, при котором управляющее воздействие оператора возможно, но не обязательно.

Методология создания безэкипажных транспортных машин для перспективных наземно-воздушных робототехнических комплексов для повышения тактической подвижности воздушно-десантных (десантно-штурмовых) подразделений базируется на решении следующих основных задач: анализ современного состояния и проблемных конструктивных, технологических вопросов отечественного парка безэкипажных транспортных машин в соответствии с основными направлениями Стра-

тегии научно-технологического развития РФ; формирование математической основы методологии путем разработки математических моделей динамики наземно-воздушных комплексов реального времени (натурно-математическое моделирование) и принципов защитного маневрирования наземных безэкипажных транспортных машин с возможностью предупреждения столкновения со средствами поражения противника; разработка методов определения характеристик и выбора научно-обоснованных технических решений по конструктивному исполнению безэкипажных транспортных машин.

Решение указанных задач на первом этапе предполагает интеграцию натурно-математических моделей, описывающих динамику объектов наземно-воздушного РТК («ведомой» безэкипажной транспортной машины и «ведущего» БПЛА под управлением операторов) и средств поражения (ударного БПЛА противника под управлением оператора) в игровые миссии (см. таблицу) симулятора-тренажера (аналога для подготовки операторов БПЛА).

Таблица 1 - Состав игровой мультиагентной системы для определения прогнозирования подожности наземной безэкипажной машины наземно-воздушного РТК

№	Должность	Средство	Функция	Задача
Наземно-воздушный комплекс				
Наземные робототехнические средства				
1	Оператор	Наземная безэкипажная транспортная машина	Ведомый, доставка груза	Управление движением
Беспилотные летательные аппараты				
2	Оператор	Беспилотный летательный аппарат	Ведущий, целеуказание для наземной безэкипажной транспортной машины	Ретранслятор, управление движением
3	Оператор	Беспилотный летательный аппарат	Средство поражения наземной безэкипажной транспортной машины	Поражение наземной безэкипажной транспортной машины

Реализация в игровом комплексе при воздействии средств поражения противника высокоскоростного защитного маневрирования наземных безэкипажных транспортных машин с различными типами ходовых систем, силовой установки, трансмиссий, рулевого и тормозного управления, в том числе с возможностью предупреждения об атаке, является ключом для определения конструктивных параметров и выбора характеристик защитного маневрирования (изменения скорости и направления движения), управляемых дистанционно и/или в автономном режиме, наземных безэкипажных машин.

Полученные характеристики и конструктивные параметры, обеспечивающие заданную малую вероятность поражения по результатам натурно-математического моделирования на основе статистических испытаний в игровом комплексе, позволяют на втором этапе перейти к формированию тактико-технических требований, технического облика, конструктивного исполнения наземных безэкипажных транспортных машин перспективных наземно-воздушных РТК.

В.А. Шурыгин

ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ПЛАТФОРМ НА ОСНОВЕ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАЗНОРОДНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ

*АО «Федеральный научно-производственный центр
«Титан-Баррикады»,
г. Волгоград, cdb@cdbtitan.ru*

Введение

Современные специальные наземные транспортные платформы характеризуются наличием многоуровневой структуры повышенной сложности, часто динамически изменяющейся как во время движения, так и при выполнении технологических операций в стационарном режиме на стоянке. Эффективное решение целевых задач требует строгой координации управления разнородными компонентами системы – агрегатами, системами и отдельными устройствами – с учетом временных и логических ограничений, а также изменяющихся внешних условий, в том числе в режиме реального времени [1, 2].

В связи с этим особую значимость приобретают исследования в области отказоустойчивых самовосстанавливающихся систем управления

транспортных платформ, включая бортовые информационно-управляющие системы (БИУС)

Особенности БИУС специальных транспортных платформ

К рассматриваемым транспортным платформам предъявляются повышенные требования по надежности, что обусловлено их критически важным назначением. Система управления должна гарантировать выполнение целевых задач даже в условиях возникновения нештатных ситуаций, включая частичные отказы оборудования. Это обуславливает необходимость структурной и функциональной избыточности системы, внедрения развитых средств диагностики технического состояния, автоматизированного анализа и локализации неисправностей непосредственно в процессе эксплуатации.

Существующие транспортные платформы в основном построены на базе конфедеративной архитектуры, что подразумевает наличие множества независимых (не связанных друг с другом) систем, каждая из которых реализует определенную функцию). К основным недостаткам такой архитектуры следует отнести:

1. Практически полное отсутствие унификации оборудования, т. е. каждая из систем разрабатывается и создается отдельным разработчиком и изготовителем. Вследствие этого увеличивается время разработки системы в целом, снижается ее ремонтпригодность, затрудняется модернизация, увеличивается номенклатура комплектующих изделий.

2. Отсутствие возможности разделения ресурсов между отдельными подсистемами, поскольку каждая из них комплектуется своими уникальными датчиками, вычислителями и другими устройствами. Вследствие этого ухудшаются массогабаритные характеристики и увеличивается стоимость.

3. Необходимость использования в каждой системе собственного дополнительного оборудования для обеспечения ее отказоустойчивости (резервирование аппаратных компонентов), что ухудшает массогабаритные характеристики, значительно увеличивается энергопотребление и стоимость [3].

Распределенные системы управления специальных транспортных платформ.

Практический интерес представляет применение в специальных наземных транспортных платформах новых принципов и ряда уже отработанных в авиации технических решений архитектуры интегрированной модульной авионики (ИМА). Данная концепция предполагает, что различные функции системы управления выделяются в логические раз-

делу, которые могут физически реализовываться на любом унифицированном вычислительном устройстве, входящем в состав системы). При этом все вычислительные устройства соединяются посредством коммуникационной среды на базе высокоскоростных бортовых сетевых интерфейсов и являются высокоинтегрированными устройствами с общим программным уровнем [3].

Архитектура на базе концепции интегрированной модульной авионики является открытой, ориентированной на широкое применение унифицированных решений, аппаратуры и программ, позволяет реализовать несколько функций на одних и тех же аппаратных средствах, выполнять раздельную разработку аппаратных и программных средств. Все это позволяет уменьшить время и снизить стоимость разработки системы управления.

На рисунке 1 представлена архитектура распределенной БИУС специальной транспортной платформы.

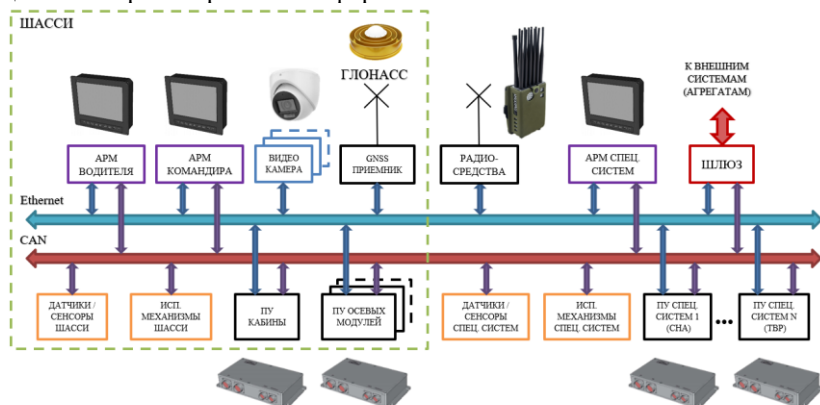


Рис. 1. Архитектура распределенной БИУС

Закключение

Основными направлениями исследования при создании распределенных бортовых систем управления являются:

1. Исследование способов и методов реконфигурации исполнительных систем платформы (как базового шасси, так и специальных систем), в том числе с учетом ограничений на управление.

2. Исследование принципов организации вычислительного процесса в системах управления и способов повышения надежности ее вычислительных подсистем (структурное резервирование, резервирование производительности, выравнивание вычислительной нагрузки).

3. Исследование методов и алгоритмов диспетчирования вычислительных подсистем, в том числе децентрализованного, вычислительных подсистем.

4. Исследование алгоритмов реконфигурации системы управления.

В результате может быть создана принципиально новая реконфигурируемая децентрализованная система управления для специальных транспортных платформ, которая позволит улучшить их надежность и отказоустойчивость, снизить габариты, массу и энергопотребление системы управления, расширить функциональные возможности, что открывает путь к созданию принципиально нового класса адаптивных транспортных платформ с характеристиками, недостижимыми при использовании традиционных архитектурных решений.

1. **Шурыгин В. А.** Современные направления развития автотранспортных платформ для перспективных подвижных грунтовых комплексов // Прогресс транспортных средств и систем – 2013: материалы международной научно-практической конференции, Волгоград, 2013. – С. 271-278.
2. **Серов В. А.** Бортовая система управления мобильных роботов специального назначения / В.А. Серов, С.А. Устинов, В.И. Максименко // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. - 2019. - Вып. 1. - С. 32-39.
3. Реконфигурация систем управления воздушных судов / С. Ю. Желтов, И. А. Каляев, В. В. Косьянчук [и др.]. – Москва : Российская академия наук, 2021. – 204 с.

С.В. Жанказиев, А.В. Замыцких

УПРАВЛЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ВАТС С УЧЕТОМ ФАКТОРОВ БЕЗОПАСНОСТИ И СЕРВИСНОСТИ

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), г. Москва, sultanv@mail.ru, zamytskih@ya.ru

В настоящее время уровень развития беспилотного наземного транспорта позволяет с уверенностью говорить о том, что его массовое внедрение на предприятия и допуск на автомобильные дороги общего пользования это всего лишь вопрос относительно небольшого промежутка времени. При этом темпы внедрения будут напрямую зависеть от уровня функционирования подобного вида транспортных средств (ТС),

которое должно обладать некоторыми преимуществами по сравнению с классическим методом управления как в области безопасности дорожного движения, так и в области качества процесса перевозки. Иными словами, необходима разработка инструмента критериальной оценки параметров движения и состояния объектов перевозки, который позволит высокоавтоматизированным транспортным средствам (ВАТС) выбирать оптимальные и конкурентноспособные параметры движения.

Для расчета критериев необходим исчерпывающий перечень входных данных о параметрах движения. Данных, собираемых ВАТС с помощью собственных датчиков и сенсоров, будет попросту недостаточно, т.е. потребуется достаточно мощный внешний источник данных. В современном представлении экосистемы высокоавтоматизированного и беспилотного движения таким источником может служить только динамическая цифровая карта дорожного движения (ДЦКДД) [1, 2]. На основе данных, полученных от ДЦКДД и расчетных текущих показателей, определяемых в рамках платформы локального проекта интеллектуальных транспортных систем (ИТС), должны формироваться необходимые пакеты данных с информацией от параметров движения, передаваемых от инфраструктуры непосредственно на борт ВАТС. Далее бортовые системы ВАТС, основываясь на полученной информации и данных, полученных от собственных сенсоров, проводят расчет критериев безопасности [3] и сервисности (качества перевозки) собственных параметров движения [4, 5].

При расчете критериев безопасности учитываются групповые параметры движения, например, параметры дороги, ТС и ТП, условий эксплуатации, и т.д., а при расчете критериев сервисности – групповые параметры состояния объектов перевозки, например, параметр заказчика сервиса, пассажиров, условий перевозки, статуса в салоне и др. При этом, стоит учитывать одно важное условие – критерии сервисности движения должны стремиться к значениям критериев безопасности движения, но ни в коем случае не превышать их.

Также стоит отметить, что в дополнение к приведенным факторам необходимо учитывать различные модели рисков и угроз, одной из которых является модель конфликтности. Особо остро проблему учета моделей рисков при движении ВАТС подчеркнуло успешное участие команды МАДИ-МФТИ в технологическом конкурсе «Пятый уровень», в рамках которого было реализовано беспилотное движение ВАТС на основе ДЦКДД внутренней территории ОЭЗ «Алабуга». Конфликтность, возникающая при движении в условиях смешанного трафика, создавала достаточно серьезное препятствие для достижения максимальных критериев сервисности движения, в частности, конфликтные ситуации вынуждали

ВАТС ситуативно применять интенсивное, а иногда и аварийное торможение, а также резко изменять траектории движения. Именно применение ДЦКДД позволило добиться сервисной скорости движения равнозначной скорости движения ТС, управляемых водителем.

В настоящее время в МАДИ проводятся научные работы в области ИТС, направленные на изучение и разработку модели конфликтности транспортных потоков. Основными задачами данных работ является разработка инструментов ИТС, способных воздействовать на конфликтность движения и совершенствование алгоритмов управления беспилотного движения ВАТС. Решение поставленных задач позволит максимизировать критерии сервисности и, что не менее важно, поддерживать их стабильность.

И здесь уже возникает необходимость в развитии и внедрении технологий кооперативного взаимодействия (V2X). С одной стороны, данную технологию принято считать компонентом безопасности и некоторые страны уже рассматривают в рамках стратегии развития ИТС включение V2X как обязательного компонента программ оценки безопасности новых ТС. А с другой стороны, совместное применение ДЦКДД (с учетом моделей рисков и угроз) и V2X создает возможность реализовать сервисы, которые позволят существенно повысить сервисность и комфортность движения ВАТС. Например, за счет своевременного информирования о наличии повреждения дорожного покрытия ВАТС заблаговременно может принять необходимые меры с сохранением высокого уровня критериев сервисности и комфорта объектов перевозки. Таким образом, формируется отдельное направление – сервисы безопасности, которому стоит уделять внимание в дальнейшем.

1. Обеспечение ситуационной осведомленности для повышения надёжности движения высокоавтоматизированных транспортных средств / **С. В. Жанказиев, А. И. Воробьев, Т. В. Воробьева, А. А. Ковешников** // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2020. – № 4(94). – С. 27-29. – EDN PCGLYU.
2. **A. I. Vorobyev, A. A. Koveshnikov, M. V. Gavriluyk, T. V. Vorobyeva and D. Y. Morozov**, "Development of Requirements for a Digital Road Model as a Means of Implementing an Information Service for Road Users," 2022 Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex (TIRVED), Moscow, Russian Federation, 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/TIRVED56496.2022.9965549.
3. **A. I. Vorobyev, N. S. Golubchenko, A. A. Koveshnikov, T. V. Vorobyeva and D. Y. Morozov**, "Ensuring the Safe Movement of Highly Automated Vehicles by Means of Digital Road Model Technology," 2022 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board

Communications, Moscow, Russian Federation, 2022, pp. 1-5, doi: 10.1109/IEEECONF53456.2022.9744261.

4. **Максимычев, О. И.** Сервисная скорость для беспилотных автомобилей / О. И. Максимычев, Ю. А. Короткова, А. В. Замыцких // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2023. – № 2. – С. 6-9. – EDN XGHEGZ.
5. **Воробьев, А. И.** Проведение сравнительного анализа методов моделирования высокоавтоматизированных транспортных средств в различных условиях движения / А. И. Воробьев, Г. Э. Головашин // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2024. – № 4(79). – С. 89-97. – EDN OJDIYQ.

РАЗДЕЛ 1

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ (ИТС) И ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ ТРАНСПОРТНЫМИ ПРОЦЕССАМИ И СРЕДСТВАМИ

*В.И. Колесников¹, О.В. Кудряков², И.В. Колесников¹,
Е.С. Новиков¹, А.И. Воропаев¹, К.Н. Политыко¹, П.С. Марусин³*

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ НОВЫХ ВИДОВ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ

¹Ростовский государственный университет путей сообщения,

г. Ростов-на-Дону,

²Донской государственный технический университет,

г. Ростов-на-Дону,

³АО «Полема», г. Тула

Введение

Управление транспортными средствами напрямую зависит от качества используемых материалов, так как современные требования к безопасности, эффективности и экологичности транспорта обуславливают необходимость применения высокотехнологичных решений для увеличения срока эксплуатации деталей и механизмов транспортных средств. Особое внимание уделяется тяжело нагруженным узлам трения [1,2]. Вакуумные технологии в современном производстве транспортных средств играют одну из ключевых ролей в создании инновационных материалов и покрытий, которые позволяют управлять эксплуатационными характеристиками транспортных средств, а также увеличивать ресурс работы узлов трения. Одним из широко используемых методов повышения эксплуатационных характеристик за счет нанесения износостойких или антифрикционных покрытий является метод их физического осаждения в вакууме (physical vapor deposition – PVD). Высокий уровень технологий PVD позволяет наносить покрытия на поверхность трения с такой структурой и свойствами, которые могут «приспосабливаться» к условиям трения в широком диапазоне нагрузок и скоростей. При этом все еще не сформирован системный подход к выбору материалов и режимов технологии нанесения PVD [3].

Из множества технологий PVD при нанесении покрытий наиболее часто используемые – катодно-дуговой и магнетронный методы. Данными методами возможно получение различных покрытий: металлических однокомпонентных (Al, Ag, Au, Cu, Zn, Ti, Zr, Hf, Cr, Ta, Ni, Co, Si), а также многокомпонентных, вплоть до высокоэнтропийных, включающих 5–6 и более металлов; огромное разнообразие металлокерамических покрытий (Al_2O_3 , SiO_2 , TiN, TiC, TiCN и др.), например, только нитридные металлокерамические покрытия могут быть ординарными (TiN, ZrN, CrN, NbN и др.), многокомпонентными (TiAlN,

TiMoN, TiSiN, AlCrN, TiBN, CrAlTiYN и др.), нанокпозиционными нитридными (TiN/NbN, TiN/AlN, CrN/TiN, CrN/AlN, TiN/AlTiN, TiAlN/Si₃N₄) и комбинированными (ZrN/Cu, TiN/CN, TiC/Co, TiN/TaC, VC/Ti); широчайший спектр углеродных покрытий, включающий алмазные и алмазоподобные, а также карбидные металлокерамические покрытия, которые имеют не менее широкий элементный диапазон, чем нитридные, и аналогичную архитектуру.

Из широкого спектра материалов, используемых при нанесении PVD покрытий, выделяется новый класс материалов – высокоэнтروпийные сплавы (ВЭС). Главная особенность ВЭС – высокая конфигурационная составляющая энтропии сплава (энтропия смешивания), которая характеризует степень упорядоченности системы и способствует образованию твердых растворов, снижая вероятность появления интерметаллидов. Атомы разного размера, образующие твердый раствор, сильно деформируют структуру решетки. Деформации порождают внутренние напряжения, которые значительно повышают прочностные свойства. Отметим, что данный эффект наиболее ярко проявляется в ВЭС с ОЦК решеткой, формируя структуру с высокой термической и механической устойчивостью [4]. Как следствие, для ВЭС характерны: термическая стабильность, коррозионная и износостойкость, повышенная пластичность при низких температурах, устойчивость к ионизирующим излучениям [5].

Также стоит отметить другой перспективный класс вакуумных покрытий – алмазоподобные покрытия (DLC). Осаждение DLC-покрытий проводится методом импульсно-дугового испарения с поджигом дугового разряда через лазерную систему. При выполнении процесса ионного осаждения углеродных покрытий из паровой фазы для стабилизации толщины покрытий DLC осуществляется напуск азота в рабочую камеру вакуумной установки, процентное содержание которого регулируется с помощью системы газонапуска. В результате этого не только удается подавить эффект саморастрескивания DLC-покрытий вплоть до толщины 3–4 мкм и получить в покрытии высокую твердость и предельно низкий коэффициент трения, но и реализуется возможность регулирования соотношения гибридизации sp^3/sp^2 технологическими методами, где sp^3 – доля атомов углерода с алмазной электронной конфигурацией в структуре покрытия, а sp^2 – доля атомов углерода с графитной конфигурацией [6, 7]. Перспективность таких покрытий для трибологического применения основывается на сочетании высокой твердости с низкими значениями коэффициента трения DLC-покрытий и подтверждается целым рядом работ [8–10].

В связи с изложенным, исследование ионно-плазменных покрытий ВЭС и DLC, разработка новых видов покрытий на их основе в настоящее

время являются актуальными задачами. Об этом свидетельствует и нарастающий объем публикаций по этим направлениям. Причем, наиболее слабоизученным вопросом остается определение функциональных возможностей и областей прикладного использования таких покрытий. Одной из наиболее остро стоящих проблем в этой области является многопараметричность PVD-технологии. Учитывая многообразие покрытий, очевидно, что эта проблема не может быть решена однозначно – разработкой универсальной методики или единого режима напыления. Поиск её решения, по-видимому, должен объединять создание базы экспериментальных данных, использование методик планирования эксперимента и оптимизации, применение информационных технологий по работе с большими данными, машинного обучения и нейросетевых алгоритмов. Настоящая работа посвящена краткому обзору наработок авторского коллектива, сделанных в этом направлении.

Основная часть

В статье представлены результаты исследования разных классов покрытий DLC-покрытий и покрытия на основе ВЭС, полученные современными технологиями PVD: вакуумно-дуговым осаждением, магнетронным испарением и ионным осаждением из паровой фазы углеродных покрытий класса DLC.

1. DLC-покрытия

В результате проведенных исследований по аттестации элементного состава, морфологии поверхности, структуры, механических и трибологических характеристик ионно-плазменных углеродных покрытий и комбинированных покрытий установлено:

- величина подачи азота в камеру $\%N$, ток индукционных катушек λ , давление в камере P и время осаждения t являются важным четырехпараметрическим комплексом технологических параметров нанесения покрытий;

- наиболее эффективные значения физико-механических характеристик – твердости H , модуля упругости E , сопротивления упругости H/E , сопротивления пластичности H^3/E^2 DLC-покрытий формируется при следующих значениях величины азота $\%N = 5-8$ и тока $\lambda = 3,0-3,8$ А. При этих параметрах физико-механические свойства DLC-покрытий приобретают значения: $H \geq 20$ ГПа, $E \geq 250$ ГПа, $H/E \geq 0,07$, $H^3/E^2 \geq 0,08$ ГПа.

- углеродные покрытия DLC с подслоем титана, полученные на подложке из стали 40ХН2МА по оптимальным режимам нанесения при значениях технологических параметров $\%N = 5,5 \pm 0,5$ % и $\lambda = 2,0 \pm 0,2$

А, позволяют получить высокую износостойкость из-за того, что твердое покрытие блокирует выход дислокации на поверхность подложки и тормозит тем самым процесс разрушения и могут быть рекомендованы для прикладного использования в условиях трения.

- при нанесении двухслойных комбинированных покрытий системы CrAlSiN+DLC оптимальные режимы нанесения слоя DLC смещаются к границе наибольших значений интервала параметров $\%N$ и λ .

- общая толщина комбинированных покрытий находится в пределах $h = 0,85 \dots 2,25$ мкм ($h_{cp} = 1,43$ мкм), данная величина толщины демонстрирует высокие физико-механические и трибологические характеристики. Исследования покрытий с большей толщиной показало, что при увеличении толщины свыше 2,5 мкм покрытие становится хрупким и при проведении трибологических испытаний разрушается.

- формирование распределения электронных конфигураций углерода по всей толщине покрытия имеет градиентный характер, что дает возможность управлять величиной sp^3 (алмазная составляющая) и sp^2 (графитная гибридизация) и оказывать влияние не только на величину износостойкости, но и коэффициента трения за счет sp^2 .

2. Покрытия на основе ВЭС

Получение покрытий на основе ВЭС потребовали отработку технологических параметров, поскольку физико-химические процессы при нанесении этого класса покрытий отличаются своеобразием по сравнению с нанесением нитридных и углеродных покрытий.

Технология вакуумного ионно-плазменного напыления покрытия CrTiZrNbHf по оптимальным технологическим режимам обеспечивает их плотное прилегание к подложке и получение однородной структуры покрытий, не обнаруживающей признаков образования интерметаллидных фаз. Стоит отметить, что иногда наблюдается относительно небольшое количество капельной фазы (поверхностных дефектов), формирующихся при форсированном осаждении покрытия или при отключенной системе магнитной сепарации. Использование вакуумной ионно-плазменной технологии нанесения покрытий при дуговом испарении с трёх катодов различного элементного состава не позволяет получить покрытие ВЭС эквиатомной концентрации компонентов. Для решения технологических проблем при 3-х катодном испарении целесообразно применение технологии магнетронного напыления с использованием мишени, состав которой соответствует составу покрытия. Для этого АО «Полема» (г. Тула) были изготовлены магнетронные мишени эквиатомного состава CuCrMnFeCoNi.

Использование магнетронного несбалансированного способа напыления покрытия CuCrMnFeCoNi позволило решить сразу несколько проблем, выявленных при катодном дуговом напылении покрытий CrTiZrHfNb: на порядок увеличить скорость осаждения покрытий; получить качественные покрытия с плотным прилеганием к стальной подложке без явно выраженных дефектов большой толщины ($h = 11 \dots 19$ мкм) при разумных затратах времени на нанесение; наносить покрытия заданного состава, в том числе и эквивалентного, состава.

Результаты исследования физико-механических и трибологических свойств покрытий CrTiZrNbHf и CuCrMnFeCoNi представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Результаты исследования физико-механических*
и трибологических свойств покрытий CrTiZrNbHf
и CuCrMnFeCoNi**

Объект исследования	H , ГПа	E , ГПа	H/E	H^3/E^2	Коэфф. трения μ	Износ J , 10^{-6} мм ³ /Н/м
CuCrMnFeCoNi	6,0 1	186,8 2	0,03 2	0,006 2	0,12...0,3 5	Не обнаружено
CrTiZrNbHf	4,0 7	155,3 7	0,02 6	0,002 8	0,6...0,7	35,35

* – индексы упругости (H/E) и пластичности (H^3/E^2) получены расчетным путем с использованием усредненных экспериментальных значений величин H и E , приведенных в таблице.

Анализ физико-механических свойств позволяет сделать вывод, что покрытие системы CuCrMnFeCoNi, полученное магнетронным методом распыления, значительно превосходит покрытие системы CrTiZrHfNb, полученное катодно-дуговым методом нанесения. Значение индекса упругости H/E покрытия CuCrMnFeCoNi незначительно превышает значение покрытия CrTiZrHfNb, а индекс пластичности H^3/E^2 в ~ 2 раза. При проведении экспериментов с исследовательскими целями были получены единичные пробы напыления покрытий CuCrMnFeCoNi при различном напряжении смещения $U_s = -100, -200$ и -250 В и с введением азота в вакуумную камеру ($\%N = 12$). Однако существенных изменений физико-механических характеристик покрытий это не принесло, так как большинство компонентов покрытия CuCrMnFeCoNi не являются

нитридообразующими элементами, поэтому трудно было ожидать существенного роста его прочностных свойств. В целом по физико-механическим характеристикам покрытия CuCrMnFeCoNi стоит отметить, что уровень его прочностных свойств находится примерно на уровне закаленной стали 40XH2MA с несколько более высоким сопротивлением как упругой (в $\sim 1,5$ раза), так и пластической деформации (в $\sim 2,5$ раза). Важным практическим результатом проведенных трибологических экспериментов является найденное сочетание материала подслоя (Nb/Zr/Hf/Cr) и толщины покрытия ВЭС системы TiCrZrHfNb ($h = 4 \dots 5$ мкм), которое позволило снизить износ покрытия в $5 \dots 6$ раз по сравнению с традиционным сочетанием подслоя Cr и $h = 1,0 \dots 2,5$ мкм.

Резюмируя, можно отметить, что переход к технологии магнетронного нанесения покрытия полностью оправдан за счет значительного увеличения физико-механических и трибологических свойств.

Заключение

Результаты исследования демонстрируют значительный потенциал применения современных вакуумных технологий в узлах трения транспортных средств. Внедрение инновационных решений способствует существенному увеличению ресурса эксплуатации и обеспечению бесперебойной работы механизмов. Технологические параметры процесса нанесения покрытий оказывают существенное влияние на их физико-механические и трибологические характеристики. Наибольшее влияние оказывают процентное содержание азота (%N) и ток индукционных катушек (λ). Оптимальные режимы нанесения углеродных покрытий DLC с подслоем титана на подложку из стали 40XH2MA установлены при: %N = $5,5 \pm 0,5\%$, $\lambda = 2,0 \pm 0,2$ А. Прогнозируемые физико-механические свойства углеродных DLC-покрытий: $H \geq 20$ ГПа, $E \geq 250$ ГПа, $H/E \geq 0,07$, $H^3/E^2 \geq 0,08$ ГПа.

Стоит отметить, что особенности комбинированных покрытий системы CrAlSiN+DLC заключаются в оптимальных режимах нанесения слоя DLC смещаются к максимальным значениям параметров, общая толщина покрытия находится в диапазоне $0,85 \text{--} 2,25$ мкм (средняя $1,43$ мкм), при толщине более $2,5$ мкм наблюдается снижение эксплуатационных характеристик из-за повышения хрупкости.

При исследовании покрытий на основе ВЭС ключевым открытием стало выявление высоких перспектив использования нового класса материалов – покрытий на основе ВЭС. Данные материалы обладают уникальными физико-механическими характеристиками, что делает их особенно привлекательными для применения в транспортной отрасли.

Сравнительный анализ методов нанесения покрытий показал превосходство магнетронного способа. Данный метод обеспечивает: формирование эквивалентного состава покрытия, значительное увеличение скорости осаждения, улучшение физико-механических и трибологических свойств. Особое внимание заслуживает достижение в области снижения износа. Оптимизация сочетания материала подслоя и толщины покрытия на основе ВЭС для состава CrTiZrHfNb позволила уменьшить износ в 5–6 раз по сравнению с традиционными решениями.

Полученные результаты открывают широкие перспективы для практического применения исследуемых материалов в системах управления современной транспортной техники, что может привести к существенному улучшению эксплуатационных характеристик транспортных средств.

В качестве продолжения исследований выбраны композиционные многослойные покрытия следующих систем, перспективных для трибологического использования, но недостаточно изученные с этой точки зрения: MeN/a-C:N, MeN/ta-C – композиционные нитрид-углеродные покрытия на базе аморфного углерода, стабилизированного азотом, и тетрагонально-аморфного углерода. Проведенные исследования ВЭС позволили установить, что получение покрытий CrTiZrNbHf вакуумно-дуговым методом затруднительно, поэтому целью дальнейших исследований является синтез данной системы магнетронным распылением и исследование. Также внимание заслуживают покрытия, полученные вакуумным ионно-плазменным методом из сплавов высокого демпфирования и проведение трибологических испытаний образцов в условиях динамической нагрузки и широком диапазоне температур –70...+200°C.

Для успешного выполнения дальнейших исследований совместно с АО «Полема» (г. Тула) реализована программа выпуска катодов и магнетронных мишеней для осаждения многокомпонентных покрытий (n-CrAlSiN/a-SiN(Si₃N₄), n-TiN/n-AlSiN, n-Ti/n-AlSi) по технологии вакуумного ионно-плазменного напыления, в том числе покрытий из высокоэнтропийных сплавов (CuCrMnFeCoNi и CrTiZrHfNb). Эти материалы смогут быть использованы в узлах трения машин и механизмов различных областей машиностроения РФ, таких как авиа-, двигателе-, станкостроение и других отраслях.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-30007-П, <https://rscf.ru/project/21-79-30007/>.

1. Повышение износостойкости металлических и металлополимерных трибосистем путём формирования структуры и свойств их

- поверхностного слоя / И.В. Колесников, П.Д. Мотренко, В.И. Колесников, Д.С. Мантуров. – М.: ВИНТИ РАН, 2021. – 168 с., ил.
2. **Колесников И.В.** Системный анализ и синтез процессов, происходящих в металлополи-мерных узлах трения фрикционного и антифрикционного назначения / И.В. Колесников. – М.: ВИНТИ РАН. 2017. – 384 с.
 3. **Политыко К.Н., Колесников И.В., Мантуров Д.С.** Анализ технологий нанесения высокоэнтропийных покрытий физическим методом осаждения. *Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don.* 2024;24(4):369-391.
 4. **Cantor, B.** Microstructural development in equiatomic multicomponent alloys / B. Cantor, I.T.H. Chang, P. Knight, A.J.B. Vincent // *Materials Science and Engineering: A.* – 2004. – Vol. 375–377. – P. 213–218. – DOI: 10.1016/j.msea.2003.10.257.
 5. **Kuzminova Y.O., Firsov D.G., Dagesyan S.A., Konev S.D., Sergeev S.N., Zhilyaev A.P., et al.** Fatigue behavior of additive manufactured CrFeCoNi medium-entropy alloy. *Journal of Alloys and Compounds.* 2021;863:158609. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.158609>.
 6. **Senthilkumar R., Prabhu S., Cheralathan M.** Experimental investigation on carbon nano tubes coated brass rectangular extended surface // *Applied Thermal Engineering.* 2013. Vol. 50. P. 1361-1368.
 7. **Spencer E.G., Schmidt P.H., Joy D.C., Sansalone F.J.** Ion-beam-deposited polycrystalline diamond-like films // *Appl. Phys. Lett.* 1976. Vol. 29. P. 118-120.
 8. **Grierson, D. S.** Nanotribology of carbon-based materials / D. S. Grierson, R. W. Carpick // *Nanotoday.* – 2007. – Vol. 2. – P. 12–21.
 9. Tribological Characteristics of Nanosized Carbon Coatings Obtained by the Pulsed Vacuum_Arc Method on the Modified TiNi Surface / M. G. Kovaleva, A. Ya. Kolpakov, A. I. Poplavskii [et al.] // *Journal of Friction and Wear.* – 2012. – Vol. 33, No. 4. – P. 260–265.
 10. **Charitidis, C. A.** Nanotribological Behavior of Carbon Based Thin Films: Friction and Lubricity Mechanisms at the Nanoscale / C. A. Charitidis, E. P. Koumoulos, D. A. Dragatogiannis // *Lubricants.* – 2013. – Vol. 1(2). – P. 22–47.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЦИАЛЬНОГО ВНИМАНИЯ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ В ПЛОТНОМ ТРАФИКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ SA-MDP

*Московский государственный технический университет
им. Н. Э. Баумана, г. Москва,
hnjyqc0928@gmail.com*

Введение

Поведенческое планирование, подразумевающее принятие стратегических решений на уровне высокоуровневой логики, рассматривается как ключевой компонент систем автономного управления транспортного средства в условиях плотного трафика, обеспечивающим безопасность и эффективность транспортных потоков [1]. В простых сценариях традиционно применяются конечные автоматы с жёстко заданными правилами, однако их эффективность ограничена в условиях неопределённости и многопользовательских взаимодействий [2-3]. Предлагаемое решение на основе SA-MDP (Socially-Attentive MDP) интегрирует механизм эго-внимания для динамического анализа релевантных объектов в сцене, устраняя необходимость в ручной параметризации правил.

Механизмы внимания и архитектура модели

Для обработки сложных сцен предлагается система !, которая работает с представлением состояния в виде списка признаков. На Рис. 1 представлена данная система. Система обеспечивает инвариантность к перестановкам и поддержку переменного числа транспортных средств N , фильтруя информацию и сохраняя только релевантные элементы для принятия решений. Предложенная система реализует Q-функцию, оптимизируемую алгоритмом DQN, и состоит из начального слоя линейного кодирования с общими для всех транспортных средств весами. На данном этапе векторы признаков содержат только индивидуальные характеристики размерности d_x .

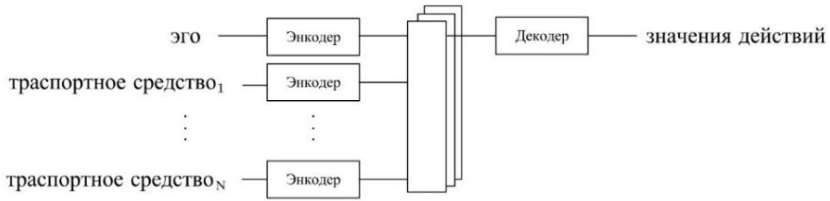


Рис. 1. Структура схема системы

Полученные векторы подаются на вход слоя «эго-внимания», состоящего из нескольких параллельных «голов». Префикс «эго-» подчёркивает аналогию со слоем многоголового самовнимания, но предусматривает единственный выход, соответствующий автономному транспортному средству. Такая голова эго-внимания работает следующим образом для выбора подмножества транспортных средств в зависимости от контекста собственное транспортное средство сначала формирует единственный запрос $Q = [q_0] \in \mathbb{R}^{1 \times d_k}$, вычисленный с помощью линейной проекции $L_q \in \mathbb{R}^{d_x \times d_k}$ его вектора признаков.

Этот запрос затем сравнивается с набором ключей $K = [k_0, \dots, k_N] \in \mathbb{R}^{N \times d_k}$, содержащим описательные признаки k_i для каждого транспортного средства, также вычисленные с помощью общей линейной проекции $L_k \in \mathbb{R}^{d_x \times d_k}$. Сходство между запросом q_0 и любым ключом k_i оценивается их скалярным произведением $q_0 k_i^T$. Эти значения сходства затем масштабируются на коэффициент $1/\sqrt{d_k}$ и нормализуются с помощью функции мягкого максимума σ по всем транспортным средствам.

Получается стохастическая матрица, называемая матрицей внимания, которая, наконец, используется для сбора набора выходных значений $V = [v_0, \dots, v_N]$, где каждое значение v_i является признаком, вычисленным с помощью общей линейной проекции $L_v \in \mathbb{R}^{d_x \times d_v}$. В целом, вычисление внимания для каждой головы может быть записано как:

$$\text{output} = \underbrace{\sigma \left(\frac{QK^T}{\sqrt{d_k}} \right)}_{\text{матрица внимания}} V.$$

Результат

Экспериментальные исследования подтвердили значительное превосходство политики на основе механизма «эго-внимания» над архитектурами FCN и CNN: в то время как FCN демонстрирует слепое рискованное поведение, характеризующееся высокой скоростью и короткими эпизодами вследствие аварий, а CNN проявляет избыточную осторожность с низкой скоростью, склонностью к «замерзанию» и искусственно удлинёнными эпизодами, предложенный механизм обеспечивает сбалансированную стратегию. Благодаря динамической фокусировке на релевантных агентах (визуализированной через матрицу внимания), система эффективно сочетает безопасное торможение перед перекрёстками с активным использованием приоритетных промежутков в потоке. Данное поведение, приближенное к человеческому, демонстрирует оптимальное ситуационное реагирование и подтверждает повышение общей производительности в сложных средах.

Заключение

Предложенная архитектура интегрирует механизм внимания, динамическое контекстное кодирование и моделирование межатранспортных взаимодействий. Её эффективность подтверждена в симуляторе CARLA для задач пересечения перекрёстков и многоагентной координации. Стратегия демонстрирует устойчивость и адаптивность, аналогичную человеческому поведению, что открывает перспективы внедрения в системы управления АТС в условиях плотного городского трафика.

В работе исследуется нелинейная динамика математической модели раскручиваемой двухмассовой механической системы, представляющей собой модель колеса. Проанализирована динамика процесса раскрутки системы при наличии и отсутствии проскальзывания шины на поверхности основания и контакта с поверхностью.

1. **Wang, T.; Qu, D.; Wang, K.; Wei, C.; Li, A.** Risk-Aware Lane Change and Trajectory Planning for Connected Autonomous Vehicles Based on a Potential Field Model / T. Wang, D. Qu, K. Wang, C. Wei, A. Li // World Electr. Veh. J. – 2024. – Т. 15. – С. 489.
2. **X. Zhou, Z. Peng, Y. Xie, M. Liu and J. Ma.** Game-Theoretic Driver Modeling and Decision-Making for Autonomous Driving with Temporal-Spatial Attention-Based Deep Q-Learning / X. Zhou, Z. Peng, Y. Xie, M. Liu, J. Ma // IEEE Trans. Intell. Veh. – 2024. – С. 1–17.
3. **S. Li, C. Wei and Y. Wang.** Combining Decision Making and Trajectory Planning for Lane Changing Using Deep Reinforcement Learning / S. Li,

И.Г. Малыгин, В.В. Цыганов, С.А. Савушкин, А.В. Лемешкова

ПРИНЦИПЫ НАУЧНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЕКТОВ

*Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН,
г. Санкт-Петербург, info@iptran.ru*

Введение

Крупномасштабные транспортные проекты (КТП) призваны ускорить развитие экономики. Правительством Российской Федерации (РФ) принято постановление №718 «Об утверждении Правил направления научно-технических программ и проектов на экспертизу в Российскую академию наук». В связи с этим разработано Положение об экспертизе РАН, определяющее задачи, основные принципы и порядок проведения научной экспертизы проектов. Учитывая актуальность научной экспертизы КТП, необходимо создать методологическую базу такой экспертизы, в первую очередь - разработать принципы научной экспертизы КТП.

Теоретические основы научной экспертизы

Особенностью научной экспертизы КТП является существенная неопределенность исходных данных и условий, требований и ограничений, возможностей и рисков, критериев эффективности и прогнозов результатов реализации КТП в сложных динамических социально-экономических системах. В связи с этим, для анализа, экспертизы и разработки КТП применяются подходы теории управления эволюцией сложных организационно-технических систем [1], а также развиваемой на её основе прикладной теории больших транспортных систем [2]. Для экспертизы КТП на основе этих теорий традиционно используются принципы прогрессивности, комплексности, согласованности, интеллектуальности и адаптивности проектов, объединенные в концепции ПРОКСИМА [1,2]. Концептуальный подход к научной экспертизе КТП использует также методы и опыт разработки стратегий, программ, технологических дорожных карт, основывающихся на принципах программно-целевого планирования [3] и равноточности управления [4].

Принципы предметной научной экспертизы

Предметная экспертиза КТП включает рассмотрение существа проекта и его составляющих. Необходимо, прежде всего, провести обзор состояния, тенденций, целей, задач, структуры, механизмов и процедур реализации проекта. Особое внимание следует уделить анализу транспортных проблем, обусловивших актуальность проекта, и обзору подходов к его реализации.

Важный принцип экспертизы – необходимость определения степени детализации (глубины) исследования и построение адекватных иерархических моделей оптимизации КТП. После этого определяются оптимальные решения, программы и мероприятия проекта. Степень эффективности КТП определяется путем сопоставления фактических решений с оптимальными.

Другие принципы экспертизы: определение соответствия решений существующим нормативным документам; сопоставление их с аналогичными российскими и зарубежными решениями (бенчмаркинг); анализ и выявление противоречий в обосновании проекта. В процессе экспертизы КТП проводится анализ основных параметров его затрат и эффектов, состояния транспортных объектов, их технической оснащенности, грузопотоков и объемов перевозок грузов, «узких» мест пропускной способности, а также мероприятий по развитию и обновлению транспортной инфраструктуры.

При экспертизе КТП необходимо учитывать политику, стратегии и программы развития больших транспортных систем. При этом необходимо оценивать глубину проработки и обоснованности КТП. Для этого удобно структурировать описание проекта в следующем виде: введение; миссия, видение, стратегические цели, показатели и их значения; описание и внутренний анализ; анализ рынков; возможности роста и риски; сценарии эволюции, задачи, мероприятия, этапы выполнения работ и их ресурсное обеспечение; организационная структура управления; финансовая модель и ожидаемый результат развития в динамике.

В процессе экспертизы КТП важно выделить систему управления проектом, имеющую, как правило, сложную иерархическую структуру. Ее состав, внутренние связи и функции определяются спецификой проекта. В составе системы управления рекомендуется выделять подсистемы управления текущей деятельностью и развитием.

Принципы логической научной экспертизы

Логическая экспертиза КТП включает проверку убедительности и последовательности описания проекта и обоснования выводов. Такой логической экспертизе подвергаются разделы КТП, содержащие научное обоснование принимаемых мероприятий. Последовательно проводится

экспертиза терминологии, логических связей, структуры и организации материалов КТП.

Апробация принципов научной экспертизы

Предложенные принципы научной экспертизы КТП апробированы при экспертизах проектов комплексной реконструкции Восточного полигона железных дорог РФ (БАМа и Транссиба) [2], транспортной политики Единого экономического пространства РФ, Белоруссии и Казахстана [2], стратегического развития транспортного комплекса РФ [5], комплексного освоения территории РФ на основе транспортных пространственно-логистических коридоров [6], управления стратегическим развитием транспортной инфраструктуры Сибири, Дальнего Востока и Российской Арктики [7,8].

1. **Цыганов В.В.** Интеллектуальное предприятие: механизмы овладения капиталом и властью. Теория и практика управления эволюцией организации / В.В. Цыганов, В.А. Бородин, Г.Б. Шишкин – М.: Университетская книга, 2004. – 768 с.
2. **Цыганов В.В.** Большие транспортные системы: теория, методология, разработка и экспертиза / В.В. Цыганов, И.Г. Малыгин, А.К. Еналеев, С.А. Савушкин. – СПб.: ИПТ РАН, 2016. – 216 с.
3. **Ириков В.А.** Методы программно-целевого управления, включая бюджетирование, ориентированное на результат. – М.: Стелс, 2007. – 84с.
4. **Еналеев А.К.** Полигоны информационного управления в больших социальных и экономических сетях / А.К.Еналеев, В.В.Цыганов // Информационные войны. 2013. № 4. С. 62-68.
5. **Макоско А.А.** Стратегическое планирование устойчивого функционирования экономического комплекса РФ. Угрозы, целеполагание, прогноз, рекомендации / Под ред. А.А. Макоско – М.: Наука, 2021. – 412 с.
6. **Козлов В.В.** Комплексное освоение территории РФ на основе транспортных пространственно-логистических коридоров / Под ред. В.В. Козлова и А.А. Макоско – М.: Наука, 2019. – 463 с.
7. **Макоско А.А.** Инфраструктура Сибири, Дальнего Востока и Арктики. Состояние и три этапа развития до 2050 г. / Под ред. А.А.Макоско – СПб.: ИПТ РАН, 2019. – 468 с.
8. **Малыгин И.Г.** Комплекс моделей стратегического управления транспортной инфраструктурой Сибири, Дальнего Востока и Российской Арктики / Под ред. И.Г. Малыгина – СПб.: СПбУ ГПС МЧС России, ИПТ РАН, 2023. – 122 с.

МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК ПАССАЖИРОВ В КРУПНОМ ГОРОДЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*¹Волгоградский государственный технический университет,
г. Волгоград, v2xoda@ya.ru*

*²Московский автомобильно-дорожный государственный технический
университет, г. Москва, ywtrofimenko@mail.ru*

Введение и актуальность

В настоящее время существует множество современных интеллектуальных транспортных систем (ИТС) в области организации пассажирских автомобильных перевозок. Каждая из этих ИТС решает узкий круг задач и их совокупность не позволяет сформировать единой целостности в решении вопросов проектирования, организации и мониторинга перевозочного процесса пассажиров. ИТС пассажирского транспорта мегаполиса и его агломерации должны формировать эффективное функционирование всех видов транспорта единой транспортной системы во взаимодействии в узлах с обеспечением бесшовных перевозок пассажиров. Разработана цифровая концепция $K(1; 0)$ интеллектуальной транспортной системы пассажирского транспорта мегаполиса и его агломерации. Правильная трансформация единой транспортной системы крупного города, направленная на достижение совокупного решения проблемы совмещения интересов пассажиров и транспортных предприятий с общественными, определяет актуальность работы. Оценку эффективности функционирования сложной системы пассажирского транспорта мегаполиса и его агломерации, в которой проявляется вся совокупность взаимосвязей и взаимодействий транспортной сети предлагаем выполнять с использованием коэффициента эффективности функционирования системы пассажирского транспорта.

Основная часть

Проблемы формирования единой транспортной системы города и агломерации относятся к разряду слабо структуризованных или смешанных, которые невозможно полностью сформулировать количественно (так как в них присутствуют и качественные элементы) [1]. Методология системного анализа, а именно логистика позволяет определять различные показатели (получить количественное выражение

и определить взаимосвязи) функционирования транспортных систем, осуществляющих пассажирские перевозки в мегаполисе и его агломерации. Необходимо рассматривать на микроуровне маршруты отдельных видов транспорта, на мезо-уровне маршрутную сеть каждого отдельного вида транспорта и на макроуровне единую транспортную систему пассажирского транспорта мегаполиса и агломерации. Возникает вопрос: что считать бесструктурным элементом такой сложной системы? Часто обсуждалось, что эту роль можно отвести отдельным маршрутам микроуровня, но тогда в современных условиях развития общества нарушается принцип, что «транспорт нужен для пассажира, а не существующий факт, что транспорт нужен для транспорта». Считаем, что бесструктурным элементом в интеллектуальной транспортной системе должна быть поездка пассажира, а не маршруты различных видов транспорта. В настоящее время информационные и интеллектуальные системы города и агломерации имеют возможность получать и накапливать характеристики передвижений пассажиров во времени и в пространстве: начало поездки; пересадки на другие виды транспорта; завершение поездки и др. Вынужденные пересадки оказывают негативное влияние на пассажира дополнительными затратами времени, финансовыми расходами и ухудшением его физического состояния. Одним из направлений снижения воздействия пересадок и поднятия популярности общественного пассажирского транспорта является применение в поездках с пересадками принципа бесшовности [2].

В таких моделях органы управления на транспорте оплачивают перевозчику часть недополученных им доходов в зависимости от установленных показателей перевозок. Перевозки осуществляются по регулярным тарифам, величину которых определяют региональные власти. Взимание платы с пассажира осуществляется в безналичной форме, что делает прозрачным не только финансовые потоки, но и позволяет иметь актуальную информацию для совершения перевозок. Финансовые риски и их величина определяется точностью технологического проектирования перевозок. Предлагаемая «Брутто-модель» дает возможность аккумулирования всей выручки перевозчика на отдельных счетах, принадлежащих транспортным властям, с последующим перечислением перевозчику в соответствии с полнотой и качеством выполнения транспортной работы [3].

Разработана цифровая концепция $K(1; 0)$ интеллектуальной транспортной системы пассажирского транспорта мегаполиса и его агломерации. Предлагаемая концепция интеллектуальной транспортной системы работает на базовой и очень простой цифровой платформе $(1; 0)$, когда все поездки пассажиров можно кодировать как «1» или как «0». Нуль – это поездка без пересадки, а единица поездки с пересадками в бесшовном пространстве (режиме). Современные интеллектуальные

системы легко формируют массивы с данными на основе нуля и единицы. Такое простое состояние «да» или «нет» и позволило сформировать новую цифровую концепцию $K(1; 0)$ интеллектуальной транспортной системы пассажирского транспорта мегаполиса и его агломерации (рис. 1).

Обработка полученных массивов данных о передвижениях пассажиров в мегаполисе и его агломерации не составит большой сложности для предлагаемой интеллектуальной системы (рис. 2).

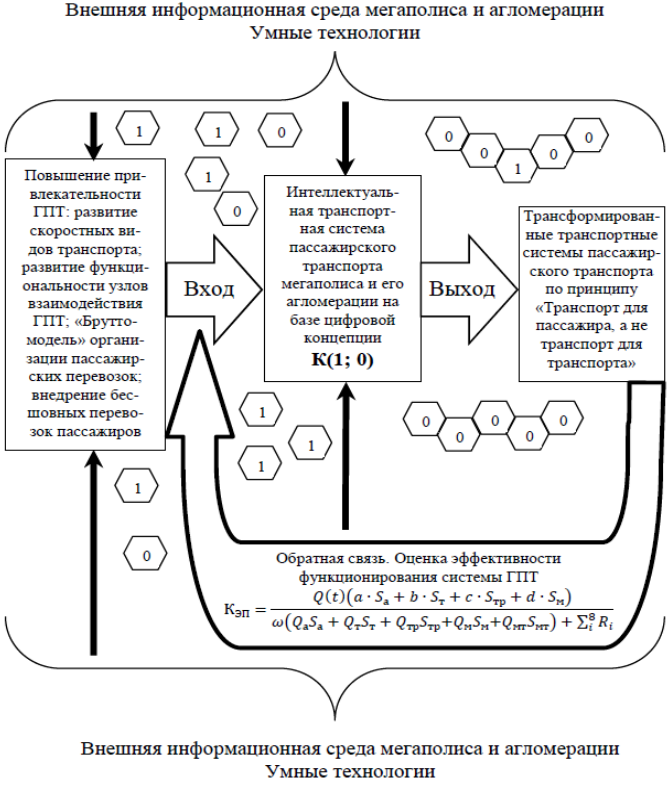


Рис. 1. Интеллектуальная транспортная система пассажирского транспорта мегаполиса и его агломерации на базе цифровой концепции $K(1; 0)$

Составные поездки пассажиров (отмеченные системой как «1» выполненные по бесшовному принципу) можно записать в матрицы корреспонденции, которые намного проще составных матриц по каждому виду транспорта.

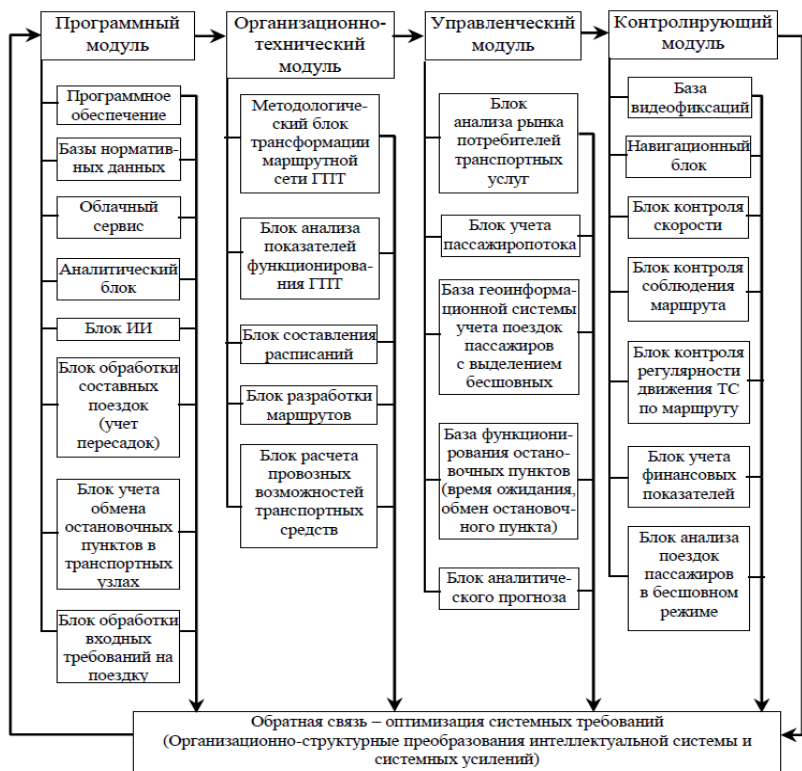


Рис. 2. Структура интеллектуальной транспортной системы пассажирского транспорта мегаполиса и его агломерации на базе цифровой концепции K(1; 0)

Полученные матрицы и базы данных поездок пассажиров являются исходным началом для трансформации транспортных систем отдельных видов транспорта в единую транспортную систему пассажирских перевозок городов мегаполисов и агломераций с целевой функцией - минимизация количества пересадок в одной поездке (в системе большую часть займут матрицы корреспонденций «0»). Такая трансформация хорошо будет выполняться с увязкой финансовых показателей и рисков за счет использования брутто контрактов с применением «Брутто-модели» организации пассажирских перевозок.

Оценку эффективности функционирования сложной системы пассажирского транспорта мегаполиса и его агломерации, в которой

проявляется вся совокупность взаимосвязей и взаимодействий транспортной сети предлагаем выполнять с использованием коэффициента эффективности функционирования системы пассажирского транспорта, представляющий собой отношение затрат, связанных с удовлетворением нормативной потребности населения мегаполиса и его агломерации в перевозках к фактическим затратам.

$$K_{\text{ЭП}} = \frac{Q(t)(a \cdot S_a + b \cdot S_T + c \cdot S_{\text{ТР}} + d \cdot S_M)}{\omega(Q_a S_a + Q_T S_T + Q_{\text{ТР}} S_{\text{ТР}} + Q_M S_M + Q_{\text{МТ}} S_{\text{МТ}}) + \sum_i^8 R_i},$$

где $K_{\text{ЭП}}$ – коэффициент эффективности функционирования системы пассажирского транспорта мегаполиса и его агломерации на базе цифровой концепции $K(1; 0)$; $Q(t)$ – потребность в передвижении, пас.; ω – коэффициент, учитывающий изменение энтропии перевозочной системы; a, b, c, d – соответствующая доля распределения общего объема перевозок пассажиров по видам транспорта; $S_a, S_T, S_{\text{ТР}}, S_M, S_{\text{МТ}}$ – соответствующие себестоимости перевозок по видам транспорта, руб./пас.; $Q_a, Q_T, Q_{\text{ТР}}, Q_M, Q_{\text{МТ}}$ – соответствующие объемы выполняемых перевозок по видам транспорта, пас.; R_i – дополнительные затраты возникающие при выполнении перевозочного процесса пассажиров, руб.

Выводы

ИТС пассажирского транспорта мегаполиса и его агломерации должны способствовать эффективному функционированию всех видов транспорта единой транспортной системы во взаимодействии в узлах с обеспечением бесшовных перевозок пассажиров. Разработана цифровая концепция $K(1; 0)$ интеллектуальной транспортной системы пассажирского транспорта мегаполиса и его агломерации. Правильная трансформация единой транспортной системы мегаполиса и агломерации хорошо будет выполняться с увязкой финансовых показателей и рисков при использовании «Брутто-модели» организации пассажирских перевозок. Оценку эффективности функционирования сложной системы пассажирского транспорта мегаполиса и его агломерации предлагаем выполнять с использованием коэффициента эффективности функционирования системы пассажирского транспорта.

1. Эффективность городского пассажирского общественного транспорта: монография / **А.В. Вельможин, В.А. Гудков, А.В. Куликов, А.А. Сериков**; ВолгГТУ. - Волгоград: монография, 2002. - 256 с.
2. **Куликов, А.В.** Перспективы «бесшовных» перевозок пассажиров в транспортных системах российских городов-миллионников (на примере Волгограда) / **А.В. Куликов, Л.Б. Миротин, А.А. Вальковская** // Социология города. - 2022. - № 1-2. – С. 93-116.

3. **Любимов, И.И.** Анализ моделей взаимодействия субъектов пассажирских автомобильных перевозок / И.И. Любимов, Н.Н. Якунин, Н.В. Якунина // Вестник СибАДИ. – 2022. Т.19. – № 6 (88). – С. 878-889.

*А.А. Абакаров¹, Н.А. Филиппова², Ш.Д. Гечекбаев¹, Ш.М. Игитов¹,
И.Р. Пирмагомедов¹*

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ОБЛАСТИ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА РЕСПУБЛИКИ ДАГЕСТАН

*¹Московский автомобильно-дорожный государственный
технический университет, Махачкалинский филиал,
г. Махачкала, abakarmadi@list.ru*

*²Московский автомобильно-дорожный государственный
технический университет, г. Москва, imen@bk.ru*

Введение

В Республике Дагестан в 2024 году распоряжением Правительства утверждена концепция развития общественного транспорта на срок до 2030 года. Концепция определяет приоритеты и направления развития общественного транспорта в соответствии со стратегией социально-экономического развития республики [1].

Основная часть

В октябре 2022 года была утверждена стратегия в области цифровой трансформации отраслей экономики, социальной сферы и государственного управления. Эта стратегия определяет ключевые направления цифровизации, приоритетные проекты и целевые показатели, направленные на повышение эффективности и конкурентоспособности различных секторов экономики и народного хозяйства республики. В рамках стратегии предполагается активное внедрение цифровых технологий, развитие цифровой инфраструктуры [2].

Однако, прежде чем говорить о перспективах развития, следует отметить основные проблемы в сфере общественного транспорта.

За последние годы доминирующее положение в сфере автотранспорта занял негосударственный сектор. Предприятиями

негосударственных форм собственности на автомобильном транспорте в настоящее время выполняется более 90 % перевозок пассажиров.

Маршрутная сеть Республики Дагестан состоит из 718 маршрутов регулярных перевозок (рисунок 1).

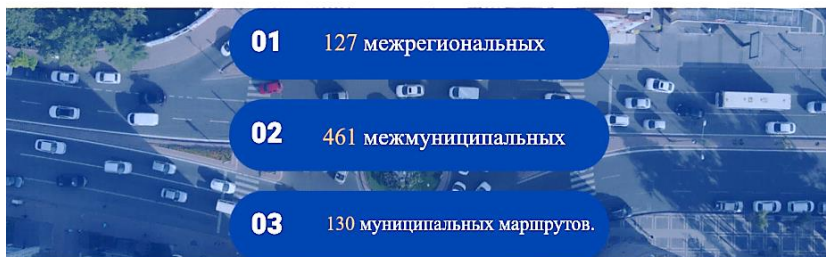


Рис. 1. Маршрутная сеть Республики Дагестан

Отмена системы планирования маршрутной сети в городах и добровольная и нерегулируемая организация маршрутов частными транспортными компаниями, приведшая к значительному дублированию маршрутов, привела к потере экономических преимуществ транспорта большой вместимости (в основном электротранспорта) и концентрации пассажирских перевозок на определенных маршрутах. Политика «дерегулирования» маршрутной сети стала основной причиной снижения эффективности и технического уровня транспорта большой вместимости. Основными причинами, обуславливающими негативную ситуацию с управлением транспортом общего пользования, являются следующие:

Отсутствие восприятия городского транспорта как системы жизнеобеспечения наряду с аналогичными системами (электро-, водоснабжением, улично-дорожной сетью и т.п.), которые должны гарантировать единое, равное качество сетевого сервиса при социально приемлемом уровне расходов для граждан; распространённое восприятие городских и пригородных пассажирских перевозок как «бизнеса, зарабатывающего на пассажирах».

Практика решения сугубо социальных задач (уменьшение транспортных расходов наименее обеспеченных слоёв населения) за счет перевозчиков путем сдерживания транспортных тарифов для населения без надлежащей компенсации расходов перевозчиков на выполнение этой социальной функции [3].

В тоже время общественный транспорт является основным видом транспорта, обеспечивающим мобильность населения в рабочих, бытовых и культурных целях. На долю автомобильного транспорта

приходится более 80% пассажирских перевозок. Этот факт определяет важную роль автомобильного транспорта в социально-экономическом развитии страны.

В настоящее время в городах республики функционируют 24 предприятия, оказывающие услуги по перевозке пассажиров (рисунок 2).



Рис. 2. Общее количество транспортных средств, задействованных в пассажирских перевозках

Автомобильный транспорт является важным потребителем трудовых ресурсов, по Республике Дагестан в нем занято около 5000 человек. Развитая сеть общественного транспорта обеспечивает высокое качество и эффективность перевозок. Следовательно, дальнейшее развитие отрасли должно быть направлено на повышение безопасности и эффективности перевозок, внедрение инновационных технологий и развитие этого сектора.

Необходимо отметить следующие преимущества автомобильного транспорта, позволяющие ему успешно конкурировать с другими видами транспорта:

- широкая номенклатура, высокий уровень географической и технологической доступности автотранспортных услуг,
- большое разнообразие используемых автотранспортных средств, позволяющее обеспечить выполнение практически всех потребностей рынков транспортных услуг,
- возможность обеспечения достаточно высоких скоростей доставки пассажиров.

Учитывая сложные условия эксплуатации транспорта в Республике Дагестан, требуется особое внимание к комплексным мероприятиям, направленным на повышение безопасности дорожного движения.

Приведем данные по статистике ДТП в республике (таблица 1) [4].

Таблица 1

Динамика изменения количества дорожно-транспортных происшествий и пострадавших в Республике Дагестан

ГОД	ДТП	ПОГИБЛО	РАНЕНО
2021	1384	309	1914
2022	1446	329	2042
2023	1667	348	2450
2024	1502	276	2178

Статистика, конечно, говорит о весьма высоком уровне ДТП на дорогах.

В целях снижения числа ДТП на аварийно-опасных участках автодорог республики эксплуатируются 363 стационарных камер, а также 4 мобильных и одна передвижная камера (рисунок 3).

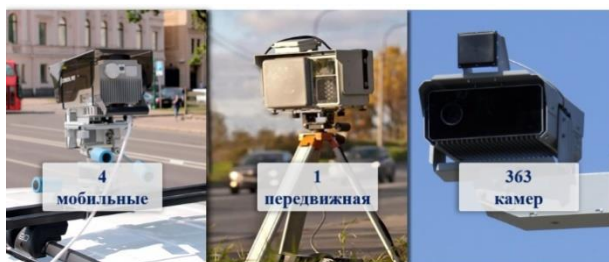


Рис. 3. Камеры для фото- и видеофиксации на участках дорог

Для обеспечения безопасности и снижения уровня аварийности на дорогах общего пользования, предлагаются следующие меры:

- контроль технического состояния транспорта перед выездом и при возврате с линии,
- проведение предрейсовых и послерейсовых медицинских осмотров водителей,
- проведение инструктажа водителей и их стажировок,
- регулярное проведение экзамена на знание ПДД для водителей, осуществляющих пассажирские перевозки.

Только так можно гарантировать, что на дороги выезжают водители, действительно готовые к безопасному управлению транспортным средством.

Кроме того, важную роль в обеспечении безопасности транспортных процессов играют такие факторы, как разработка эффективных схем организации дорожного движения, внедрение современных технических средств регулирования движения.

Безусловно, говоря о перспективах развития общественного транспорта, необходимо отметить и направление цифровизации.

Цифровизация транспортной отрасли направлена на:

- создание условий для построения оптимальных маршрутов и информационно-навигационного построения пассажирских поездок,
- повышение уровня безопасности при осуществлении пассажирских перевозок,
- обеспечение возможности безналичной оплаты проезда в автобусах, осуществляющих регулярные пассажирские перевозки,
- создание интеллектуальной транспортной системы Махачкалинской агломерации на территории Республики Дагестан,
- интеграцию региональных транспортных систем с ситуационно-информационным центром Министерства транспорта Российской Федерации.

Приведем наиболее важные направления и проекты по улучшению цифровой трансформации транспортной отрасли в городах, в частности, предлагаемые для Республики Дагестан (рисунок 4) [5,6,7].



Рис. 4. Проекты по улучшению цифровой трансформации на транспорте

Одним из важных факторов повышения эффективности общественного транспорта является создание диспетчерской системы управления.

Внедрение диспетчерской системы управления перевозками пассажиров позволяет повысить качество транспортного обслуживания населения за счет непрерывного автоматического управления движением в режиме реального времени, координировать и синхронизировать

работу всех видов общественного транспорта путем увязки интервалов движения в разное время суток на непрерывных маршрутах, повысить эффективность использования подвижного состава за счет сокращения непроизводительных потерь времени на маршрутах и рационального использования подвижного состава и резервных транспортных средств на наиболее перегруженных маршрутах.

С целью повышения эффективности функционирования общественного транспорта предлагается внедрение в республике региональной автоматизированной системы диспетчерского управления (РАСДУ) и региональной автоматизированной системы информирования пассажиров (РАСИП) (рисунок 5) [8,9,10].



Рис. 5. Структура и взаимодействие основных компонентов комплексной автоматизированной системы диспетчерского контроля и учета транспортной работы на пассажирском транспорте

Подводя итог, можно отметить, что перспективы развития общественного транспорта многообещающие. Воплощая их в жизнь, необходимо руководствоваться теми мерами, которые рассмотрены в данной работе, а именно: цифровизацией транспорта, повышением безопасности дорожного движения, а также созданием диспетчерского управления общественным транспортом.

Дальнейшее развитие цифровых технологий позволит оптимизировать маршруты, предоставить пассажирам актуальную

информацию о движении транспорта в режиме реального времени и внедрить удобные системы оплаты проезда.

Создание эффективного диспетчерского управления общественным транспортом обеспечит оперативное реагирование на возникающие ситуации, координацию работы различных видов транспорта и повышение общей эффективности транспортной сети [11]. В совокупности перечисленные меры позволят создать современную, безопасную и удобную систему общественного транспорта, отвечающую потребностям современного общества.

1. Концепция развития общественного транспорта Республики Дагестан на период до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства Республики Дагестан от 26 июня 2024 г. № 292-р
2. Стратегия в области цифровой трансформации отраслей экономики, социальной сферы и государственного управления Республики Дагестан. Утверждена распоряжением Правительства Республики Дагестан от 11 октября 2022 г. № 461-р.
3. Об утверждении государственной программы Республики Дагестан "Цифровой Дагестан". Правительство Республики Дагестан постановление от 27 апреля 2023 года N 155.
4. <https://xn--80aebkobnwfcsfk1e0h.xn--p1ai/r/05> (Официальный сайт ГИБДД), (дата обращения – 01.03. 2025 г.)
5. <https://mintransdag.ru/activity/13426> (Официальный сайт Минтранс РД), (дата обращения – 01.03. 2025 г.)
6. Стратегические приоритеты государственной программы Республики Дагестан «Цифровой Дагестан». Приложение к постановлению Правительства Республики Дагестан от 27 апреля 2023 года N 155.
7. **Власов В.М.** Применение цифровой инфраструктуры и телематических систем на городском пассажирском транспорте. Учебник / В.М. Власов, Д.Б. Ефименко. В.Н. Богумил. - Москва: ИНФРА-М, 2018. — 352 с.
8. **Власов В.М., Байтулаев А.М., Богумил В.Н.** Цифровая инфраструктура и телематические системы контроля работ по содержанию автомобильных дорог. Издательство: НИЦ ИНФРА-М, 2021. -229с.
9. **Филиппова Н.А.** Международная конференция «Логистика и ее преимущества в развитии транспортных сообщений Таджикистана со странами региона». Перспективы развития современных автоматизированных систем управления транспортной мобильностью в горной местности и сложных климатических условиях. 18-19 октября 2022г.

10. **Абакаров А.А., Пирмагомедов И.Р., Хабибов К.М.** Применение цифровых технологий с целью обеспечения безопасности транспортных процессов в горных условиях Республики Дагестан/ Современное состояние и перспективы инновационного развития науки: сборник статей международной научной конференции (Сургут, Январь 2024). – СПб.: МИПИ им.Ломоносова, 2024.
11. **Малышев, М.И.** Неполученная провозная плата - нерешённая проблема предприятий общественного транспорта, осуществляющих перевозку льготников / М.И. Малышев, Н.А. Филиппова, М.Л. Пономарев // Мир транспорта. – 2020. – Т. 18, № 1(86). – С. 116-133. – DOI 10.30932/1992-3252-2020-18-116-133. – EDN RMAUAD.

И.Н. Пугачев¹, Д.Е. Григоров², Н.Г. Шешера³

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ ТРАНСПОРТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ТРАВМАТИЗМА ПРИ ДТП

*¹ Хабаровский Федеральный исследовательский центр
Дальневосточного отделения Российской академии наук,
(ХФИЦ ДВО РАН), г. Хабаровск, irugachev64@mail.ru,
^{2,3} Дальневосточный юридический институт Министерства
внутренних дел Российской Федерации имени И.Ф. Шилова
(ДВЮИ МВД России имени И.Ф. Шилова), г. Хабаровск,
glowfisch8lan@gmail.com, kolyaka239@mail.ru*

С целью изучения и обобщения закономерностей взаимодействия транспортных показателей приводящих к травматизму в следствии ДТП с различных информационных ресурсов было собрано большое количество данных о геометрических элементах и характеристиках дорог, погодных и природных условиях [1-3].

Современные программные инструменты предоставляют возможность автоматизированного выбора оптимальных интервалов для анализа, предлагая различные способы разбиения переменных [4]. В рамках данного исследования для определения наиболее подходящего интервала был применен метод ранговой корреляции Спирмена [5]. Поскольку каждый интервал представляет собой совокупность наблюдаемых значений, использование стандартных методов корреляционного анализа в данном случае не является наилучшим решением.

При исследовании температурных условий в системе транспортных характеристик учитывались дополнительные факторы, такие как день недели, время суток и наличие осадков [6, 7].

В качестве исходных данных об интенсивности транспортного потока использовались сведения о транспортном потоке и метеорологических условиях на контрольных участках программно-аппаратных комплексов (рис. 1) [9-10].

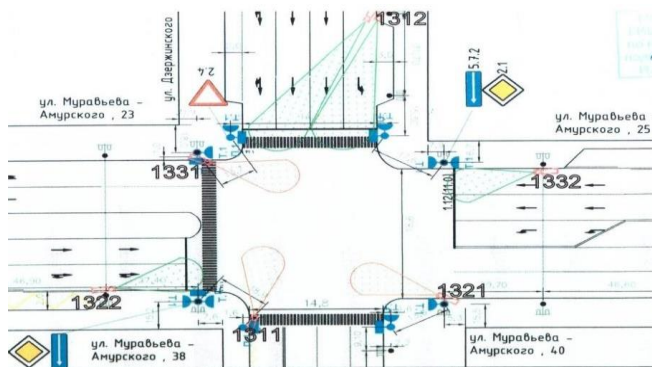


Рис. 1. Пример - схема перекрестка с установленными на нем рубежами контроля полос (1311, 1321, 1331)

В отсутствии фиксирующих интенсивность устройств, с учетом собранных данных и полученных в данной работе эффективных широт интервалов на исследуемом участке был разработан метод прогноза интенсивности транспортного потока с использованием инструмента искусственного интеллекта – Метода случайных деревьев [11-15]. На рисунке 1 приведен результат тестового прогноза.

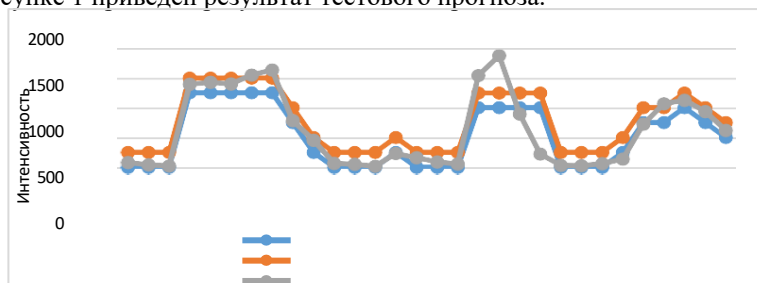


Рис. 2. Сравнительный анализ прогноза интервалов интенсивности с фактическими значениями

Линия фактического значения интенсивности, в большинстве случаев находится внутри прогностической ширины интервала, а если выходит за пределы, то на незначительное значение [16].

Определив закономерности взаимодействия транспортных характеристик, из них исключили неэффективные признаки для прогноза травматизма при ДТП. С использованием Метода случайного леса обучена прогностическая модель.

Учитывались три класса зависимого признака для обучения: 0 – нет пострадавших, 1 – с пострадавшими и 2 – с погибшими [17].

Проведен тестовый прогноз на данных, которые не участвовали в обучении. После предварительной обработки из 27 ДТП осталось 20, остальные исключали необходимую информацию. Из 20 признаков модель правильно классифицировала 19. Это говорит о высоком качестве прогностической шкалы [18].

Выполненная работа решает задачи по прогнозу интенсивности и травматизма при ДТП для современных транспортных систем, а проведенный анализ закономерностей взаимодействия транспортных характеристик и экспериментальные исследования подтверждают достоверность выводов.

1. Исследование дорожной обстановки в местах совершения ДТП с позиций травматизма / **И. Н. Пугачев, Н. Г. Шешера** // Автотранспортное предприятие. – 2015. – №7. – С. – 43-46
2. **Шешера Н. Г.** Чувствительность методики коэффициентов травматизма / Н.Г. Шешера // Научный журнал «Вестник Уральского государственного университета путей сообщения» № 1 (29), 2016 – С. – 116-121.
3. **Пугачев И.Н., Каменчуков А.В., Ярмолинский В.А., Шешера Н.Г.** Комплексный подход к повышению безопасности дорожного движения на основе анализа транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги // Дороги и мосты. 2018. № 1 (39). С. 21.
4. **Пугачев И.Н., Шешера Н.Г.** Влияние величины продольного уклона на ДТП с травматизмом // Наука и техника в дорожной отрасли. 2020. № 3 (93). С. 4-7.
5. **Пугачев И.Н., Шешера Н.Г., Григоров Д.Е.** Определение эффективных широт интервалов влияния температурных режимов на интенсивность транспортного потока с использованием ранговой корреляции Спирмена // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2024. Том 18. №3. С. 34-40.
6. Factor Analysis of Traffic Organization and Safety Systems / I. Pugachev, Y. Kulikov, G. Markelov, N. Sheshera // 12th International Conference «Organization and Traffic Safety Management

- in large cities», SPbOTSIC-2016, 28-30 September 2016, St. Petersburg. – St. Petersburg, 2017. – P. 529-535.
7. **Пугачев И.Н., Шешера Н.Г., Щеглов В.И.** Анализ геометрических элементов дорог с помощью современных геоинформационных систем при оценке их аварийности // Вестник гражданских инженеров. 2021. № 3 (86). С. 127-133.
 8. **Пугачев И.Н., Скрипко П.Б., Шешера Н.Г.** Программный подход к комплексному сбору и подготовки данных об интенсивности движения транспортных средств, погодных условий и естественной освещенности в часовых интервалах // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2023. Том 17. №10. С. 43-51.
 9. **Пугачев И.Н., Евтюков С.С., Шешера Н.Г., Григоров Д.Е.** Прогноз интенсивности транспортного потока. Обучение с учителем. Метод случайных деревьев // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2024. Том 18. №4. С. 36-47.
 10. **Пугачев И.Н., Евтюков С.С., Шешера Н.Г., Григоров Д.Е.** Максимальная обеспечиваемая скорость как ключевой показатель травматизма при ДТП. Способы сбора, обработки и анализа // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2024. Том 18. №6. С. 46-54.
 11. **Пугачев И.Н., Шешера Н.Г., Григоров Д.Е.** Прогноз травматизма при ДТП с использованием линейного графика и метода машинного обучения // Мир транспорта и технологических машин. 2024. № 3-1 (86). С. 3-11.
 12. **Пугачев И.Н., Шешера Н.Г., Григоров Д.Е.** Исследование широт интервалов признаков для повышения эффективности прогноза интенсивности транспортного потока // Вестник СИБАДИ. 2024. № 5-(21). С. 726-735.
 13. **Пугачев И.Н., Григоров Д.Е., Шешера Н.Г.** Исследование безопасности дорожного движения с позиции информационной загрузки водителя // Техник транспорта 2024. Т. 5. Вып. 4. С. 423–429.
 14. **Пугачев И.Н., Шешера Н.Г., Григоров Д.Е.** Определение стадий контроля безопасности дорожного движения (проектирование, строительство и эксплуатация) для усовершенствованной методики коэффициентов аварийности // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. 2024. № 2-(39). С. 54-60.
 15. **Пугачев И.Н., Шешера Н.Г., Григоров Д.Е.** Исследования интенсивности транспортного потока методом Deep learning. Мир транспорта. 2024;22(2):12-24.
 16. **Пугачев И.Н., Шешера Н.Г., Григоров Д.Е.** Использование инструментов современных библиотек Python по работе с географическими координатами для решения задач безопасности дорожного движения // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. 2024. № 3(40). С. 60–66.

17. Пугачев И.Н., Шешера Н.Г., Григоров Д.Е. Методология интеллектуального управления дорожным движением с учетом изменения погодных условий. Транспорт Урала. 2024. № 4 (83). С. 10-16.
18. Improving the methodology for determining injuries in road traffic accidents using machine learning – Random Tree Method / I. Pugachev, D. Grigorov, N. Sheshera // International scientific and practical conference «Smart cities and sustainable development of regions» (SMARTGREENS 2024): LLC Institute of Digital Economics and Law, 2024. – P. 125-136

И.Н. Пугачев¹, Д.Е. Григоров², Н.Г. Шешера³

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЗАГРУЗКИ ВОДИТЕЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

*¹ Хабаровский Федеральный исследовательский центр
Дальневосточного отделения Российской академии наук, (ХФИЦ ДВО
РАН), г. Хабаровск, ipugachev64@mail.ru,*

*^{2,3} Дальневосточный юридический институт Министерства
внутренних дел Российской Федерации имени И.Ф. Шилова (ДВЮИ
МВД России имени И.Ф. Шилова), г. Хабаровск,
glowfisch8lan@gmail.com, kolyaka239@mail.ru*

Введение

Система «водитель – автомобиль – дорога – среда» (ВАДС) представляет собой комплекс взаимосвязанных элементов, определяющих уровень безопасности дорожного движения. Наибольшее влияние оказывает человеческий фактор: более 80% ДТП связаны с ошибками водителей и пешеходов, причём зрительное восприятие играет ключевую роль, обеспечивая до 90% поступающей информации. Опытные водители эффективнее распределяют внимание и реагируют на угрозы по сравнению с новичками.

Для объективной оценки состояния водителя применяются инженерно-психологические методы, включая электрофизиологические исследования и окулографию, позволяющие непрерывно мониторить психофизиологические параметры без нарушения рабочего процесса. Движения глаз, как инструментальный коррелят зрительного внимания, активно изучаются в инженерной психологии и используются для

анализа восприятия, скорости обработки информации, эмоционального состояния и решения прикладных задач [1]. Основными характеристиками выступают количество и длительность фиксаций, а также траектория движения глаз, что позволяет оценивать особенности зрительного поиска, чтения и информационной нагрузки.

Основная часть

Использование технологий компьютерного зрения и машинного обучения для анализа биологических элементов, таких как мимика, движения глаз, частота моргания и другие параметры, позволяет создать интеллектуальные системы, способные адаптироваться к индивидуальным особенностям водителя. В данной статье рассматриваются основные принципы, методы и алгоритмы, лежащие в основе отслеживания динамических параметров, а также их практическое применение в системах контроля состояния водителя. Особое внимание уделяется вопросам точности, надежности и интеграции таких систем в современные транспортные средства. Машинное обучение и искусственный интеллект играют ключевую роль в анализе данных, полученных с различных датчиков и камер - обнаружение границ объектов, анализ движений глаз, распознавание эмоций на основе анализа мимики (например, модели CNN для классификации эмоций).

Как было обозначено ранее одним из ключевых направлений является анализ движений глаз, что позволяет объективно оценивать уровень внимания, усталости и потенциальной перегрузки оператора транспортного средства.

На первом этапе испытаний для определения и фиксации позиции взгляда была выдвинута гипотеза об использовании статически настроенных двух камер, одна из которых направлена на водителя, другая на дорожную обстановку (рис.1). По завершении эксперимента получены координаты направления взгляда на протяжении всего движения автомобиля [4]. Полученные значения соединены векторами, в результате чего в двухмерной плоскости x, y построена ломанная линия, демонстрирующая перемещение взгляда водителя по координатам.

Данный способ имеет существенный недостаток — низкую точность траектории и игнорирование поворотов головы, что вызывает информационный шум. Без специализированного оборудования сложно корректно определить направление взгляда из-за ограничений двумерного изображения и перемещений по оси z .

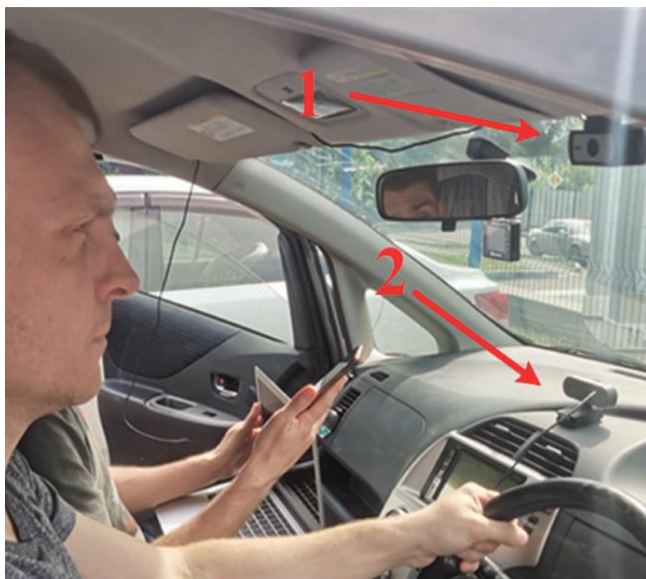


Рис. 1. Фиксация взгляда водителя при осуществлении тестового заезда:
установка камер видеонаблюдения; 1 – для фиксации взгляда,
2 – вспомогательная

Существующие методы обычно предполагают фиксированное расстояние между камерой и объектом, однако глаз может вращаться независимо от головы, что дополнительно усложняет построение вектора взгляда. Для повышения точности применяются специализированные комплексы (Tobii Glass, Pupil Core, Kexxi Eye), однако их высокая стоимость ограничивает широкое внедрение [2, 3]. Крепление камеры непосредственно к голове испытуемого позволяет устранить часть указанных проблем (рис.2).



Рис. 2. Специализированное устройство, предназначенное для отслеживания движений глаз.

Для реализации мониторинга используется специализированная система, включающая в себя: два микрокомпьютера Raspberry Pi 2W Zero, каждый из которых отвечает за отдельный канал видеонаблюдения; камеры с разной оптикой: одна направлена непосредственно на глаз водителя (для детального отслеживания микродвижений и фиксаций взгляда), вторая на дорожную сцену (для сопоставления направления взгляда с реальной дорожной обстановкой). Видеопоток с камеры, фиксирующей глаз, поступает по сетевому протоколу в формате MJPEG (рис.3).

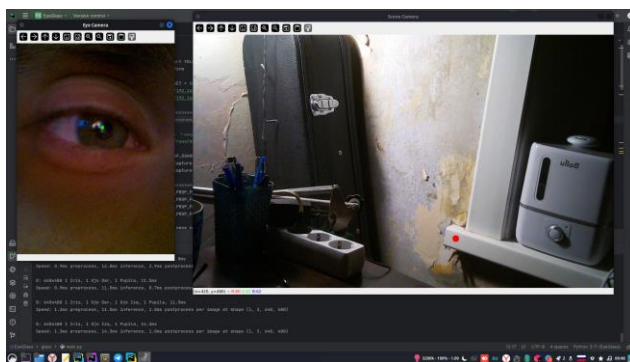


Рис. 3. Проекция точки взгляда на изображение сцены

В дальнейшем данные, полученные с камер, могут быть обработаны с помощью методов компьютерного зрения и машинного обучения:

обнаружение и классификация состояний (например, сонливость, отвлечение, стресс) на основе анализа биометрических параметров; адаптация алгоритмов под индивидуальные особенности водителя – обучение моделей на персонализированных данных для повышения точности и надежности системы.

Такая архитектура позволяет непрерывно отслеживать динамику движений глаз, фиксировать частоту и длительность фиксаций, траекторию взгляда, частоту моргания, сопоставлять направление взгляда с дорожной сценой; анализировать, насколько внимание водителя соответствует актуальным дорожным угрозам, оперативно выявлять признаки усталости или отвлечения, на основе анализа паттернов движений глаз и мимики.

Отслеживание зрачка (pupil tracking) с использованием современных методов компьютерного зрения, в частности нейросетевой архитектуры YOLO v8, представляет собой перспективное направление для разработки высокоточных и быстродействующих систем анализа взглядов.

Текущий подход регистрирует последовательность координат взгляда (x_i, y_j) во времени t . Далее был выделен период фиксации, когда взгляд стабилен, и саккады – быстрый переход между точками фиксации. Регистрация координат взгляда позволило вычислить длительность фиксаций. Пусть фиксация длится с момента t_{start} до t_{end} .

Средняя длительность фиксаций по всем N фиксациям:

$$\bar{\Delta t} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (t_{end}^{(k)} - t_{start}^{(k)}) \quad (1)$$

где k – это индекс (порядковый номер) фиксации.

В течение всего эксперимента фиксировались наиболее значимые элементы: пешеходные переходы, светофоры, знаки, автомобили и т. п. Каждый из элементов является стимулом фиксации взгляда водителем. Общее время предъявления стимула – это суммарная продолжительность, в течение которой определённый визуальный стимул (например, изображение, объект, сцена) находился в поле зрения.

Имея плотность распределения внимания (тепловые карты). Для визуализации зон внимания строится двумерная гистограмма (heatmap), где каждая ячейка содержит количество фиксаций выбранных объектов в поле зрения водителя. Для каждого объекта на изображении можно вычислить индекс значимости (S). Если индекс велик, объект субъективно значим для испытуемого.

Если водитель при просмотре дорожной сцены задерживает взгляд на пешеходе дольше, чем на других объектах, и это подтверждается расчетом индекса значимости S , можно сделать вывод о высокой

субъективной значимости этого объекта и, возможно, о срабатывании механизма безопасности.

Заключение

Таким образом, безопасность дорожного движения – результат сложного взаимодействия водителя, автомобиля, дороги и среды [5-16]. Наибольшее влияние оказывает человеческий фактор, особенно зрительное восприятие и психофизиологическое состояние водителя. Для эффективного снижения аварийности необходим комплексный подход к анализу и мониторингу всех элементов системы ВАДС.

1. **Лобанов Е. М.** Проектирование дорог и организация движения с учетом психофизиологии водителя / Е. М. Лобанов. — Москва : Транспорт, 1980. — 311 с.
2. **Пугачев И. Н.** Исследование безопасности дорожного движения с позиции информационной загрузки водителя / И.Н. Пугачев, Д.Е. Григоров, Н.Г. Шешера // *Техник транспорта: образование и практика*. – 2024 – Т. 5, № 4 – С. 423-429. – DOI 10.46684/2687-1033.2024.4.423-429. – EDN GRQWEG.
3. **Пугачев И.Н.** Совершенствование транспортной системы страны и ее регионов, посредством цифровой трансформации транспортной отрасли России / И. Н. Пугачев, А. В. Казарбин // *Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета*. – 2023 – Т. 20, № 6(94). – С. 762-772. – DOI 10.26518/2071-7296-2023-20-6-762-772. – EDN KPMQMV.
4. Evaluation of road repair efficiency in terms of ensuring traffic quality and safety / Igor Pugachev, Alexey Kamenchukov, Vladimir Yarmolinsky // *Transportation Research Procedia* 36, Thirteenth International Conference on Organization and Traffic Safety Management in Large Cities (SPbOTSIC 2018). – Pages 627-633.
5. Numerical Evaluation of the Traffic Flow Indicators Using Super-Resolution Satellite Imagery / I. N. Pugachev, G. Y. Markelov, V. S. Tormozov, A. O. Nosenko // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2019, Vladivostok, 01–04 октября 2019 года. – Vladivostok: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. – P. 8934802. – DOI 10.1109/FarEastCon.2019.8934802. – EDN ZCSLOG.

СТРУКТУРА УПРАВЛЕНИЯ ВЕДОМСТВЕННЫМ АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ НА ОСНОВЕ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

*¹Московский автомобильно-дорожный государственный технический
университет (МАДИ), г. Москва,
a.v.podzorov@mail.ru, umen@bk.ru*

Введение

В данный момент времени с целью планирования, управления, организации транспортных процессов на специализированном ведомственном автомобильном транспорте (ВАТ) активно интегрируются информационные системы и технологии. Поэтому в ведомственной структуре в сфере перевозок пассажиров и грузов предлагается разработать централизованную систему диспетчерского управления (ЦСДУ), которая базируется на многоуровневой, иерархической организационно-производственной структуре. Для ведомственного и автомобильного транспорта общего пользования (АТОП) аналогичные рассмотрены в [3, 5, 8].

В ходе проведенного исследования была сформирована организационно-производственная структура управления транспортным процессом, выполняемая специализированным автомобильным транспортом (АТ) для ведомственной структуры. Структура организации и управления в сфере перевозок для ведомственного автопарка рассмотрена на примере регионального аппарата управления Федеральной службы исполнения наказаний и представлена на рис. 1, с учетом иерархических уровней от I до V по вертикали управления структуры. Данная структура включает в себя интеграционную и телематическую платформу и группы подсистемы, которые функционируют на основе телематических систем и оборудования [1, 2, 9, 10, 11 и др.].

Основная часть

Интеграционная платформа в режиме реального времени позволяет аккумулировать статистическую информацию о транспортном процессе специализированных автотранспортных средствах (АТС), в том числе при необходимости, вносить изменения в управлении автотранспортными потоками. Для поддержания транспортного процесса специализированного автотранспорта данная система предусматривает включение ситуационного центра [6].

Использование телематической платформы в иерархической структуре позволяет получать географические координаты о специализированном автомобиле и данные, получаемые от использования его датчиков и оборудования (коммуникационного), которые необходимы для выполнения следующих задач:

а) «Безопасность автотранспорта» – блокирование основных коммуникационных систем, оборудования и датчиков по управлению специализированным автомобилем;

б) «Эффективность перевозок» – планирование и оптимизация процесса перевозок пассажиров и грузов, контроль работы оборудования и датчиков коммуникационной системы на специализированном подвижном составе (ПС) в период транспортной работы;

в) «Безопасность движения» – наличие программно-аппаратного комплекса, который позволяет отслеживать состояние водителя АТС в период управления автомобилем и предупреждает о признаках его усталости; кнопки экстренного вызова "SOS" для связи с оперативными службами, такими как: Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России); Министерство внутренних дел Российской Федерации (МВД России); экстренной медицинской помощи и др.

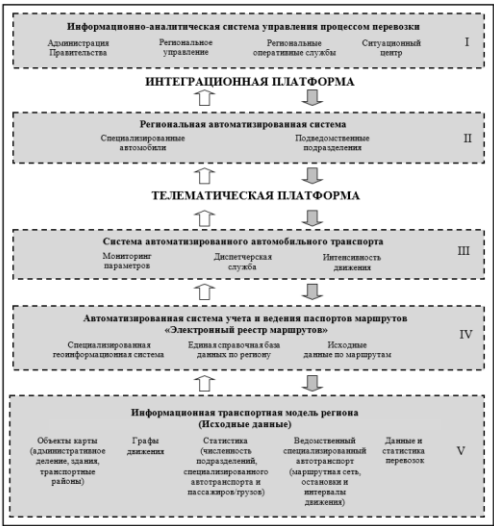


Рис. 1. Разработанная организационно-производственная структура управления транспортным процессом ведомственной структуры

г) «Контроль работы автотранспорта на линии» – присутствие системы Глобальной навигационной спутниковой системы (ГЛОНАСС) на специализированном автотранспорте; проведение предрейсового и послерейсового осмотров водителей медицинским персоналом; организация и контроль выпуска транспортных средств (ТС) на линию; взаимодействие диспетчерской службой с водительским составом, ведение путевого (бумажного или электронного) листа.

На основе представленного рис. 1 видно, что структура управления специализированными АТС различна на иерархических уровнях управления транспортным процессом. При этом, переход от I уровня управления к V иерархической структуры уменьшается объем данных и статистической информации по транспортному процессу и пропускной способности информационно-коммуникационным каналам связи, оборудования и датчиков, установленных на автотранспорте.

Далее более подробно рассмотрим структуру перевозок и транспортного процесса в увязке с иерархической организационно-производственной структурой ведомства:

I уровень – включает «Информационно-аналитическую систему управления процессом перевозки», необходимую для слаженной работы и своевременного регулирования транспортного процесса между оперативными структурами ведомства (МЧС России, МВД России, Министерство обороны Российской Федерации; Войска национальной гвардии Российской Федерации и др.) и региональным правительством.

В данную подсистему «Ситуационного центра» предусматривается внедрение ЦСДУ для повышения эффективности транспортного процесса. В настоящее время «Ситуационный центр» представляет собой комплекс информационно-коммуникационной системы, задачей которого является поддержка принятия стратегических решений на основе визуализации и аналитической обработки поступающей оперативной информации и данных, в части ВАТ, сотрудники контролируют работу экипажей и перевозку по назначенным маршрутам движения автотранспорта, согласно сменно-суточного графика [7]. Архитектура управления транспортного процесса специализированными АТС представлена на рисунке 2.

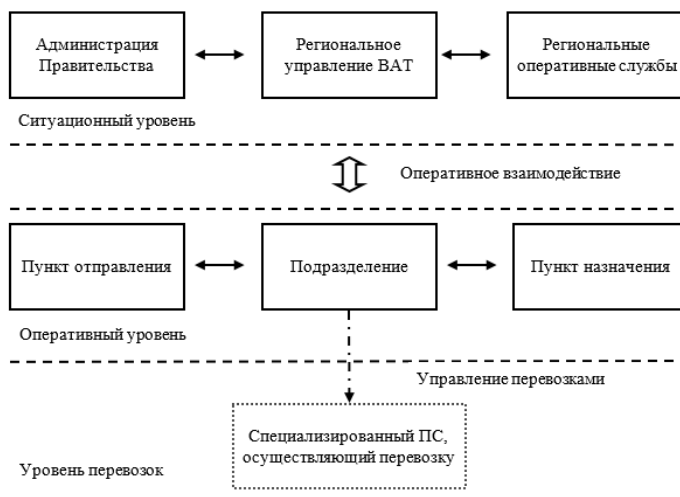


Рис. 2. Система управления транспортным процессом в «Ситуационном центре»

Представленный рис. 2 показывает систему управления транспортного процесса на различных уровнях перевозок пассажиров и грузов в ведомственной структуре. Особенностью «Ситуационного центра» заключается в осуществлении круглосуточного оперативного контроля и управления транспортными перевозками и корректировки маршрутов движения специализированного ПС в случае непредвидимых/чрезвычайных ситуаций на маршруте. При этом, сотрудники «Ситуационного центра» принимают меры к их устранению и возобновлению транспортного процесса в соответствии со сменно-суточным графиком перевозок.

II уровень – представляет собой «Региональную автоматизированную систему», необходимую для сбора, сортировки и классификации различных статистических данных о транспортном процессе специализированного ПС, которая делает возможным формирование отчетов для подразделений по технико-эксплуатационным и экономическим показателям.

III уровень – включает «Систему автоматизированного автомобильного транспорта», предназначенную для сбора информации и данных о маршрутах движения и транспортного процесса специализированных АТС, состоит из следующих подгрупп:

а) «Мониторинг параметров» – позволяет отслеживать и контролировать специализированный автотранспорт на основе его

коммуникационных систем и оборудования с учетом данных по координатам расположения, скорости и пройденного маршрута движения, датчиков контроля расхода топлива и пр.;

б) «Диспетчерская служба» – обеспечивает контроль и управление транспортного процесса по сменно-суточному графику работы специализированного автопарка на основании сменно-суточного графика работы. В том числе планирует и координирует перевозку пассажиров и грузов автотранспортом, при необходимости регулируют маршруты движения специализированными ТС с учетом заторов на дороге, задержке на маршруте следования или изменения в графике работы перевозок;

в) «Интенсивность движения» – принимает данные и информацию в зависимости от времени работы автотранспорта на маршрутах движения.

IV уровень – включает «Автоматизированную систему учета и ведения паспортов маршрутов «Электронный реестр маршрутов»», состоящей из:

а) «Специализированной геоинформационной системы» – необходимой для получения и хранения данных по координатам местности и вспомогательной информации по транспортным перевозкам;

б) «Единой справочной базы данных по региону» – дает возможность выдавать текущую адресную информацию о подразделениях регионального ведомства, руководства и иной вспомогательной информации;

в) «Исходных данных по маршрутам» – предоставляет информацию о расстоянии и времени движения на маршруте; необходимой численности автотранспорта, задействованного в перевозочном процессе; остановочных пунктах; месторасположению загрузки/разгрузки грузов; погодных условий и пр.

V уровень «Информационная транспортная модель региона» – предоставляет необходимые исходные данные для создания иерархической структуры управления перевозками ведомственного автотранспорта, состоящего из:

а) «Объектов карты» – предоставляет информацию административного деления площадных объектов по картографической визуализацией;

б) «Графы движения» – обеспечивают данными для планирования транспортного и логистического процессов;

в) «Статистика» – предоставляет статистические данные и информацию об автотранспорте; транспортных перевозках; инженерно-технических работниках и водительского состава и т.д.

г) «Ведомственного специализированного автотранспорта» – реализует сбор данных по специализированному ПС (марки, модели, технико-эксплуатационные и экономические параметры и пр.);

д) «Данных и статистики перевозок» – дает возможность обработки статистической информации и анализа по транспортному процессу.

В настоящее время структура диспетчерского управления отличается от транспортного процесса АТОП за счет специфики работы, функций и задач [4, 12], выполняемые специализированным ведомственным автотранспортом.

Таким образом, предложенная структура управления автотранспортом на основе ЦСДУ для подразделений ведомственной структуры, оптимизирует организационно-производственную структуру и повышает эффективность транспортного процесса. Интеграция систем (информационных и коммуникационных) и оборудования для спецперевозок и транспортного процесса подразделений ведомственной структуры позволит:

- организовать общую информационно-коммуникационную систему для ведомственного регионального автопарка;
- усовершенствовать транспортный процесс для специализированных ТС подразделений ведомства;
- уменьшить время предоставления информации и увеличить оперативность получаемых данных.

Выводы

В отличие от системы диспетчеризации на АТОП, предлагаемая ЦСДУ с внедрением в «Ситуационный центр» регионального управления ведомства позволит рационализировать транспортный процесс и его планирование за счет использования инфраструктуры интеграционной и телематической платформ для специализированного автотранспорта.

1. **Власов, В.М.** Информационные технологии на автомобильном транспорте: учеб. пособие для вузов / В.М. Власов, Д.Б. Ефименко, В.Н. Богумил; под. общ. ред. В.М. Власова. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 256 с.
2. **Власов, В.М.** Применение цифровой инфраструктуры и телематических систем на городском пассажирском транспорте: учебник / В.М. Власов, Д.Б. Ефименко, В.Н. Богумил. – М.: ИНФРА-М, 2018. – 352 с.
3. **Власов, В.М.** Развитие корпоративных систем диспетчерского управления и обеспечения безопасного функционирования наземных транспортных средств на базе навигационных

- приемников ГЛОНАСС/GPS / В.М. Власов // Национальный журнал-каталог «Транспортная безопасность и технологии». – 2008. – № 3 (16).
4. **Власов, В.М.** Транспортная телематика в дорожной отрасли: учеб. пособие / В.М. Власов, Д.Б. Ефименко, В.Н. Богумил. – М.: МАДИ, 2013. – 80 с.
 5. **Ефименко, Д.Б.** Методологические основы построения навигационных систем диспетчерского управления перевозочным процессом на автомобильном транспорте: дис. ... д-ра техн. наук / Д.Б. Ефименко. – М., 2001. – 462 с.
 6. **Курганов, В.М.** Ситуационное управление автомобильными перевозками: монография / В.М. Курганов. – М.: ООО «Техполиграфцетр», 2003. – 197 с.
 7. **Курганов, В.М.** Управление автомобильными перевозками на основе ситуационного подхода: дис. ... д-ра техн. наук / В.М. Курганов. – М., 2004. – 286 с.
 8. **Подзоров, А.В.** Методика интеграции производственно-технических баз ведомственного автомобильного транспорта: дис. ... кад. техн. наук / А.В. Подзоров. – М., 2024. – 143 с.
 9. Беспроводные технологии на автомобильном транспорте. Глобальная навигация и определение местоположения транспортных средств: учебное пособие / **В.М. Власов, Б.Я. Мактас, В.Н. Богумил, И.В. Конин.** – М.: ИНФРА-М, 2017. – 184 с.
 10. Информационные технологии на автомобильном транспорте: учебное пособие / **В.М. Власов, А.Б. Николаев, А.В. Постолит, В.М. Приходько.** – М.: Наука, 2006. – 288 с.
 11. Использование средств транспортной телематики в управлении маршрутизированным движением транспортных средств: метод. пособие / **В.М. Власов, Д.Б. Ефименко, С.В. Жанказиев, М.Ю. Ожерельев;** под ред. В.М. Власова. – М.: МАДИ, 2007. – 87 с.
 12. Развитие производственно-технических баз с учётом использования информационных технологий на ведомственном автомобильном транспорте / **А.В. Подзоров, В.М. Власов, Н.А. Филиппова, А.А. Абакаров** // Реализация транспортной стратегии РФ до 2030 года в части развития автотранспортного комплекса: сборник научных трудов 10-й Международной научно-практической конференции, Махачкала, 5 и 6 марта 2024 г. – Махачкала, 2024. – С. 40–43.

**РАЗРАБОТКА СЦЕНАРИЕВ ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИИ
ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ АКТИВНОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ V2X
И КООПЕРАТИВНЫХ ИТС, И ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
С ЭЛЕМЕНТАМИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДОРОЖНОЙ
ИНФРАСТРУКТУРЫ**

*Московский автомобильно-дорожный государственный технический
университет (МАДИ), г. Москва, andrey552@yandex.ru,
markarov20@yandex.ru*

Введение

Современные интеллектуальные транспортные системы (ИТС) занимают центральное место в развитии транспортной инфраструктуры, способствуя повышению безопасности дорожного движения, оптимизации транспортных потоков и созданию инновационных сервисов для пользователей. Развитие высокоавтоматизированных транспортных средств и включение их в транспортную систему является одним из направлений стратегии по цифровой трансформации транспортной отрасли до 2030 года, утвержденной Правительством РФ. При этом поэтапное внедрение высокоавтоматизированных транспортных средств должно проводиться с учетом обеспечения безопасности других участников дорожного движения и полного соблюдения правил дорожного движения.

Основная часть

Одной из ключевых технологий в этой области является V2X (Vehicle-to-Everything) – технология взаимодействия транспортных средств с элементами дорожной инфраструктуры, другим транспортным средством или группой транспортных средств, а также пешеходом посредством беспроводной передачи данных (V2I, V2V, V2P и др.). На базе V2X реализуются различные сервисы, в том числе сервисы информирования водителя и сервисы для высокоавтоматизированных транспортных средств (BATS). Системы на базе V2X открывают новые возможности для предупреждения аварийных ситуаций, оптимизации дорожного движения и создания дополнительных пользовательских сервисов. В условиях роста транспортной нагрузки и стремления к повышению безопасности внедрение таких технологий становится

приоритетной задачей в развитии как национальной дорожной инфраструктуры, так и автомобильной промышленности. Использование технологий V2X и кооперативных транспортных систем позволит обеспечить высокую эффективность работы ВАТС, а также в перспективе позволит обеспечить снижения рисков возникновения ДТП и иных нештатных событий на транспортном комплексе в целом, за счет более высокой ситуационной осведомленности ВАТС, чем у водителя [1, 2].

Для демонстрации возможностей системы повышения активной безопасности за счет применения технологий V2X и кооперативных ИТС и их взаимодействия с элементами интеллектуальной дорожной инфраструктуры разработано три демонстрационных сценария:

1. Предупреждение о наличии транспортного средства в «слепой зоне» перекрестка;
2. Информация о времени горения запрещающего сигнала светофора;
3. Предупреждение о наличии людей на пешеходном переходе.

Выбор демонстрационных сценариев обусловлен их высокой практической значимостью, поскольку каждый из сценариев представляет собой типичную дорожную ситуацию, в которой применение технологий V2X и кооперативных ИТС позволит повысить уровень безопасности и удобства дорожного движения [3, 4].

Представленные демонстрационные сценарии разработаны с учетом особенностей демонстрационной площадки, позволяющей осуществить их реализацию в полном объеме.

Заключение

Результаты работы будут использованы при внедрении элементов технологии V2X для повышения безопасности и эффективности передвижения высокоавтоматизированных транспортных средств и предоставления клиентам новых сервисов.

1. **S. V. Zhankaziev, A. I. Vorobyev, A. V. Zamytskih, A. A. Vyshkvarko and P. V. Harbunou**, "Raising Awareness of Driverless Cars at Closed Intersections Using Urban Infrastructure, Machine Vision Technologies and V2X Sharing," *2023 Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex (TIRVED)*, Moscow, Russian Federation, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/TIRVED58506.2023.10332734.
2. **A. I. Vorobyev, M. V. Gavriluk, T. V. Vorobyeva, D. Y. Morozov and A. M. Iliushin**, "Application of ITS Research Laboratories in the Field of Cooperative Systems," *2023 Intelligent Technologies and*

Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex (TIRVED), Moscow, Russian Federation, 2023, pp. 1-4, doi: 10.1109/TIRVED58506.2023.10332552.

3. Обеспечение ситуационной осведомленности для повышения надёжности движения высокоавтоматизированных транспортных средств / С. В. Жанказиев, А. И. Воробьев, Т. В. Воробьева, А. А. Ковешников // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2020. – № 4(94). – С. 27-29. – EDN PCGLYU.
4. **A. I. Vorobyev, L. O. Fedosova, A. V. Zolotov, D. A. Kashnikov and D. A. Shakin**, "Development of a Pedestrian Target for Testing Driver Assistance Systems," *2024 Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex (TIRVED)*, Moscow, Russian Federation, 2024, pp. 1-4, doi: 10.1109/TIRVED63561.2024.10769928.

А.В. Галицкая, В.А. Галузин

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПЛАНИРОВАНИЯ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

*Самарский государственный технический университет, г. Самара,
an14215@yandex.ru, vladimir.galuzin@gmail.com*

Введение

В настоящее время беспилотные летательные аппараты (БПЛА) широко используются в разных областях применения: от нефтегазового сектора до сельского хозяйства. Большая часть задач связана с мониторингом и обнаружением, а также выполнением работ в труднодоступных местах или представляющих риск для здоровья и жизни человека. Объем производства гражданских БПЛА в России по итогам 2024 года составил около 57 тыс. единиц, что на 23% больше показателя 2023 года [1]. Одной из областей, набирающих популярность в последнее время, является использование БПЛА в сфере доставки грузов.

Впервые идею доставки грузов с помощью БПЛА предложила компания Amazon еще в 2013 году, однако столкнулась с юридическими ограничениями и отсутствием спроса [2]. Только в 2022 году после получения множества разрешений, регистрации патентов и проведения испытаний компания запустила проект PrimeAir в промышленную эксплуатацию. Большого успеха в этой области достигла китайская компания Meituan, занимающаяся разработками с 2017 года. По состоянию на ноябрь 2023 года БПЛА было осуществлено более 200 тыс.

доставок в городе Шэньчжэне по 20 маршрутам, охватывающим 4 района [3].

В России в настоящее время нет действующих промышленных систем организации доставки грузов БПЛА, однако исследования и разработки ведутся. Особенностью данной задачи является необходимость учета воздушных транспортных коридоров для построения маршрута, а также скорость принятия решения и планирования нового заказа на доставку, особенно, если речь идет о доставке продуктов питания. В отличие от обычных курьерских служб, где доставку осуществляет человек, БПЛА не может забрать груз из любой точки и доставить его до «двери». Для осуществления грузоперевозки необходимо оснащение точек загрузки специальными площадками, а доставки – постаматами.

Постановка задачи

Кратко сформулируем постановку задачи планирования, которую можно описать:

- Набором БПЛА $R = \{r_i\}, i = \overline{1, I}$, где I – количество БПЛА. Каждый БПЛА характеризуется грузоподъемностью $capacity_i$, скоростью $speed_i$, ставкой за пройденный километраж $rate_i$, емкостью аккумулятора $battery_i$. Для БПЛА могут быть заданы интервалы недоступности.

- Набором заказов $O = \{o_j\}, j = \overline{1, J}$, где J – количество заказов. Каждый заказ характеризуется ценой $cost_j$, весом $weight_j$, точкой загрузки и точкой доставки, ограничением по времени выполнения $t_j = [t_j^{start}; t_j^{end}]$.

- Набора техпроцессов (ТП) $P = \{p_n\}, n = \overline{1, N}$ где N – количество ТП. ТП – это последовательность операций $p_n = \{p_{nm}\}, m = \overline{1, M}$, где M – количество операций в n -ом ТП. Для каждой операции заданы требования к БПЛА $req_{nm}^q, q = \overline{1, Q}$, где Q – количество требований для m -ой операции n -ого ТП. Для каждого ТП указан штраф за минуту опоздания от крайнего времени выполнения заказа $penaltyRaen$.

- Набора точек загрузки/доставки и воздушных транспортных коридоров между ними. Точка характеризуется количеством площадок для приземления, а также минимальным временем ожидания БПЛА в очереди на загрузку/выгрузку. Движение БПЛА в разном направлении

выполняется на разной высоте, чтобы траектории полета не пересекались.

Необходимо найти для заказов интервалы выполнения операций ТП $T_v = \{t_{vm}\}, t_{vm} = [t_{vm}^{start}; t_{vm}^{end}]$, $v = \overline{1, V}$, где V – количество запланированных заказов.

Целевая функция заказа направлена на получение максимальной прибыли по его выполнению:

$$\begin{aligned} OF_v &= cost_v - salary_v - penalty_v, \\ salary_v &= \sum_{m=1}^M rate_i \cdot S_m, \\ penalty_v &= \begin{cases} 0, & \text{если } t_{vM}^{end} \leq t_v^{end} \\ penaltyRate_n \cdot (t_{vM}^{end} - t_v^{end}), & \text{иначе,} \end{cases} \end{aligned}$$

где $salary_v$ – расходы на выполнение v -ого заказа, $penalty_v$ – штраф за нарушение сроков выполнения, S_m – пройденный километраж при выполнении m -ой операции v -ого заказа

Задача состоит в разработке метод адаптивного планирования, оптимизации и контроля расписаний доставки груза БПЛА для обеспечения максимальной прибыли компании. Требуется учесть возможные непредвиденные события недоступности БПЛА, прихода новых или отзыва имеющихся заказов, задержки их выполнения, поломки БПЛА и т. д.

Предлагаемый подход

Авторы работы для решения описанной задачи предлагают подход к адаптивному планированию логистических процессов на основе мультиагентных технологий и онтологий. Краткая идея предлагаемого подхода заключается в следующем. В основе – базовая онтология управления, содержащая универсальные понятия: заказ, продукт, задача, ресурс. Она расширяется прикладными онтологиями (например, логистики), на основе которых строится онтологическая модель компании.

Для планирования логистических процессов были введены новые понятия: БПЛА, груз, маршрут, динамическая потребность и возможность. Эти расширения позволяют моделировать задачи с учетом перемещения, характеристик ресурсов и внешних факторов (например, необходимости зарядки).

Адаптивное планирование основано на модели сети потребностей и возможностей, в которой расписание формируется как

самоорганизующаяся система, достигающая консенсуса между агентами. Процесс включает четыре стадии:

1. Подготовка исходных данных.
2. Предварительное планирование без учета конфликтов.
3. Разрешение конфликтов до достижения устойчивого состояния.
4. Консолидация невыгодных заказов в эффективные маршруты.

Заключение

В настоящее время разработан прототип системы планирования, который реализует описанный подход, идет подготовка к тестированию на реальных данных и инфраструктуре.

1. **Костин, А. С.** Анализ рынка беспилотных летательных аппаратов в России и мире/ А.С. Костин, Н.В. Богатов//Аэрокосмическое приборостроение и эксплуатационные технологии: сборник докладов Первой Международной научной конференции. – Спб.: ГУАП, 2020. – С. 125–130.
2. **Singireddy, S. R. R.** Technology roadmap: Drone delivery–amazon prime air/ S. R. R. Singireddy, T. U. Daim//Infrastructure and Technology Management: Contributions from the Energy, Healthcare and Transportation Sectors. – Cham: Springer International Publishing, 2018. – С. 387–412.
3. **Dai, X.** Research on Key Factors of Drone Delivery Services Demand/ X. Dai, X. Xiao, J. Li, H. Shan, X. Jia, Q. Wang// 3rd International Conference on Bigdata Blockchain and Economy Management (ICBBEM 2024). – China, 2024.

В.Е. Семенов, А.И. Каляев

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СБОРКИ И АННОТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХ ВЫБОРОК ДЛЯ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ НА БАЗЕ ВИДЕОПОТОКА

*Научно-исследовательский институт многопроцессорных
вычислительных систем имени академика А.В. Каляева
Южного федерального университета, г. Таганрог,
vse@sfedu.ru*

Введение

Одной из ключевых проблем, возникающих при разработке и обучении искусственных нейронных сетей, является недостаток

качественно размеченных обучающих данных. В условиях ограниченного объема доступных датасетов процесс обучения моделей становится трудоёмким и малоэффективным. Особенно остро эта проблема стоит в задачах компьютерного зрения, где требуется высокая степень точности и разнообразия входных данных. Разработка специализированных программных средств, ориентированных на автоматизацию процессов сборки и аннотации обучающих выборок, позволяет существенно повысить производительность и стандартизировать этап подготовки данных.

Комплекс методов

Основной целью данной работы является создание программного обеспечения для автоматизированного сбора и аннотации данных из видеопотока или видеофайлов с использованием алгоритмов компьютерного зрения. Разрабатываемое решение направлено на ускорение формирования обучающих выборок, необходимых для эффективного функционирования моделей машинного обучения, включая системы технического зрения автономных мобильных робототехнических систем. [1,2]

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

Разработать программный инструментарий, позволяющий осуществлять автоматизированный сбор данных из видеопотока.

Реализовать методы аннотации видеoinформации с применением современных подходов к отслеживанию объектов и генерации разметки в стандартном формате (YOLO) [3].

Результатом реализации исследования станет программное обеспечение, способное значительно снизить временные и трудовые затраты на этапе подготовки данных, а также повысить качество и объем собираемых обучающих выборок.

Архитектура системы

Архитектура системы для трекинга объектов в видеопотоке основана на модульной модели с акцентом на высокоэффективную обработку данных в реальном времени. Система разделена на несколько модулей, каждый из которых выполняет определенную задачу, что обеспечивает гибкость, масштабируемость и удобство разработки. Ниже приведены основные компоненты системы и их взаимодействие.

Для реализации системы трекинга объектов используется технология OpenCV, обеспечивающая отображение видеопотока с наложением результатов трекинга и взаимодействие с пользователем через графический интерфейс. В основном окне демонстрируется видео

с выделенным объектом, а также индикаторы состояния, показывающие успешность или потерю трекинга. Пользователь имеет возможность управлять параметрами через панель управления, где можно изменять веса методов, устанавливать пороги и просматривать отладочную информацию. Дополнительные окна служат для визуализации глобального оптического потока, локальных деталей трекинга, таких как ORB [4] ключевые точки и оптический поток, а также для логирования событий.

Контроллеры управляют состоянием трекера, включая инициализацию, перезахват и сброс, а также обрабатывают пользовательский ввод, такой как выбор объекта и изменение параметров. Выполнение алгоритмов трекинга и комбинирование их результатов обеспечивают устойчивость и точность отслеживания.

Модель данных представлена объектами, включающими область интереса (ROI), ключевые точки, дескрипторы и гистограммы, а также хранит текущее состояние программы.

Структура связей в системе отражает отношения один-ко-многим между трекированным объектом и его аннотациями, а также между логом и событиями, что обеспечивает удобное управление и анализ данных.

Масштабируемость системы достигается за счёт модульной архитектуры, которая упрощает интеграцию новых методов трекинга и расширение функциональности.

Высокая производительность обеспечивается применением пула потоков и многопоточной обработки данных, что позволяет эффективно распределять вычислительные задачи. Гибкость достигается благодаря возможности настройки параметров трекинга через графический интерфейс, позволяющий адаптировать систему под конкретные требования пользователя.

Заключение

В ходе выполнения исследования была разработана программная система, предназначенная для автоматизации процессов сбора и аннотации данных на основе видеопотока или предварительно записанных видеофайлов. Реализованное решение позволяет значительно сократить временные и трудовые ресурсы, необходимые для формирования качественных обучающих выборок, что особенно актуально в условиях дефицита размеченных данных для обучения моделей компьютерного зрения.

Разработанный инструментарий обеспечивает эффективное извлечение кадров из видеопотока, реализацию алгоритмов отслеживания объектов и автоматическую генерацию аннотаций в стандартизированном формате YOLO

Таким образом, реализация данного проекта способствует решению одной из ключевых проблем в области машинного обучения – обеспечению моделей достаточным объёмом качественно размеченных данных. Разработанное программное обеспечение может быть использовано как на этапе исследований, так и в промышленных приложениях, требующих оперативной подготовки обучающих выборок для систем искусственного интеллекта.

1. **Семенов, В. Е.** Разработка алгоритмов и средств автоматизации процесса обучения искусственных нейронных сетей на базе существующих видео или генерации изображений / В. Е. Семенов[Текст] // Информационные технологии, системный анализ и управление (итсау-2024). – Таганрог:ДиректСайнс. (ИП Шкуркин Д.В.), 2024.
2. **Горячкин Б. С., Китов М. А.** Компьютерное зрение //E-scio. – 2020. – №. 9 (48). – С. 317-345.
3. **Боков П. А., Кравченя П. Д.** Экспериментальный анализ точности и производительности разновидностей архитектур YOLO для задач компьютерного зрения //Программные продукты и системы. – 2020. – Т. 33. – №. 4. – С. 635-640.
4. **Анисимов Г. Ю., Семенюк К. А., Назаренко П. А.** АЛГОРИТМЫ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ОСОБЫХ ТОЧЕК ИЗОБРАЖЕНИЯ ORB, BRISK, AKAZE В РАБОТЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ БАС //Волновая электроника и инфокоммуникационные системы. – 2022. – С. 155-161.

А.И. Матюнина, О.Н. Ларин

ЦИФРОВОЕ РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ КОНТРОЛЯ ЗАГРУЗКИ ВОЗДУШНОГО СУДНА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ГРУЗОВЫХ АВИАПЕРЕВОЗОК

*Российский университет транспорта РТУ (МИИТ), г. Москва,
ailiaona@mail.ru, larin_on@mail.ru*

Введение

Несмотря на высокую степень автоматизации многих авиационных процессов и широкое применение цифровых технологий для их контроля [1], процесс загрузки воздушного судна до сих пор в значительной степени зависит от человеческого фактора. Согласно данным IATA, еженедельно происходит не менее одного серьёзного инцидента,

связанного с неправильной загрузкой, еще около 16 операций наземного обслуживания выполняются с грубыми ошибками: не зафиксированы замки, неверно закреплены сетки, груз установлен на неправильную позицию, некорректно учтён вес или допущены ошибки в планировании [2]. Наиболее известными случаями, связанными с нарушением правил загрузки, являются авиакатастрофы рейсов National Airlines (2013 г.) и Fine Air Cargo (1997 г.), которые унесли жизни экипажей вследствие неправильной центровки воздушного судна [3].

В ходе анализа процессов загрузки, проведённого на базе данных авиакомпаний «Аэрофлот», «Air China», «Волга-Днепр» и «Аврора», были выявлены существенные расхождения между нормативными требованиями и реальной практикой, обусловленные человеческим фактором. Это подтверждает необходимость внедрения современных цифровых решений, способных минимизировать человеческий фактор и повысить надёжность процесса.

Реализация цифрового решения контроля загрузки воздушного судна включает два последовательных этапа: выполнение операций на терминале и погрузка на борт. Контроль данных операций должен обеспечить полноту, точность и соответствие требованиям международных стандартов. Предлагается при прибытии груза на терминал все грузовые места снабдить метками RFID для автоматической идентификации и отслеживания. Это позволит исключить ошибки, связанные с человеческим фактором при регистрации прибытия груза. У входа в зону комплектации устанавливается RFID-рамка, которая считывает данные с меток по мере прохождения груза. Система автоматически сверяет полученные данные с информацией из системы бронирования и планирования перевозок. В случае, если какой-либо груз не прибыл в установленный срок или был доставлен груз, не предусмотренный планом, система немедленно отправляет предупреждение ответственному сотруднику через мобильное приложение или на планшет, что позволяет оперативно выявлять и устранять расхождения.

Основная часть

Каждое место груза сканируется и привязывается к конкретному средству пакетирования (паллете или контейнеру) с помощью штрих-кода или QR-кода. Эта информация записывается в систему и используется далее при формировании инструкции по загрузке воздушного судна. Такой подход обеспечивает полную прослеживаемость груза от момента прибытия на склад до выгрузки в терминале назначения и выдаче клиенту. После завершения комплектации данные передаются в программу центровки, где в автоматическом режиме формируется инструкция по загрузке воздушного судна (Load Instruction Report – LIR). На основе информации

о весе, объёме и ограничениях по центровке определяется на какие позиции грузового отсека контейнеры или паллеты должны быть установлены. Система также рассчитывает оптимальный порядок загрузки, который минимизирует время выполнения операций и снижает риск повреждений при перемещении груза. На основании этих данных формируется «караван» из грузовых тележек, следующих в строго заданной последовательности.

На границе между зоной комплектовки и чистой зоной устанавливается электронная габаритная рамка, оснащённая лазерными датчиками. Эта система проверяет контур каждого скомплектованного средства пакетирования на соответствие допустимым размерам по ширине и высоте. При обнаружении превышения установленных габаритов система активирует световую сигнализацию и направляет уведомление на планшет ответственного за загрузку, позволяя оперативно скорректировать ситуацию. Для контроля массы используются тензометрические датчики, установленные на платформах или тележках. Они обеспечивают автоматический весовой контроль каждого средства пакетирования и позволяют выявлять общий продольный и поперечный перегруз, превышение нормы грузоподъёмности, нарушение распределения нагрузки по осям. Контроль каравана происходит следующим образом: система видеоконтроля с функцией распознавания номеров контейнеров и бирок паллет фиксирует фактический порядок тележек в караване и сравнивает его с оптимальным порядком, сформированным системой. При выявлении отклонений система информирует оператора, предотвращая возможные ошибки при погрузке.

Таким образом, этапы терминальной обработки и подготовки к погрузке полностью автоматизированы и контролируются системой, что обеспечивает высокую степень точности и безопасности при выполнении операций с грузами. Под бортом при загрузке каждого контейнера или паллеты сотрудник использует планшет с камерой и программным обеспечением OCR для сканирования QR-кода или номера контейнера. Система проверяет соответствие фактической загрузки запланированному LIR и выдаёт предупреждения в случае несоответствий. По завершении загрузки система проводит сверку всех параметров и визуализирует результаты: корректно загруженные позиции окрашиваются в зелёный цвет, ошибочные – в красный. После этого система позволяет агенту наземного обслуживания подписать электронный акт, подтверждающий соответствие загрузки всем нормам.

Среди эффектов от внедрения можно отметить: повышение безопасности благодаря минимизации риска нарушения центровки и снижения вероятности аварийных ситуаций, вызванных ошибками загрузки; экономию времени: скорость считывания информации увеличивается за счёт использования OCR и мобильных устройств, кроме того сокращается время на исправление ошибок благодаря раннему

обнаружению несоответствий; прозрачность и управляемость процессов, так как все данные о загрузке сохраняются в централизованной информационной системе, есть возможность отслеживания и анализа показателей по каждому рейсу. Таким образом, упрощается координация между различными подразделениями авиакомпании и аэропорта, снижается уровень человеческой ошибки за счёт автоматической проверки соответствия фактической загрузки заданным параметрам, обеспечивается целостность процесса за счёт интеграции систем центровки и управления грузом.

Заключение

В заключение обозначим, что внедрение цифрового решения контроля загрузки воздушного судна является важным шагом в направлении цифровизации процессов грузовых авиаперевозок и повышения безопасности полетов как главного приоритета стратегических целей Международной организации гражданской авиации (ИКАО) [4]. Безопасность полётов, экономическая эффективность и качество сервиса являются ключевыми факторами, на которые оказывает положительное влияние внедрение такой системы. Мы уверены, что данное решение имеет широкие перспективы и может быть масштабировано на все этапы авиационной логистики.

Авторы статьи выражают благодарность специалистам отдела центровки Международного аэропорта Шереметьево им. А.С. Пушкина, сотрудникам грузового терминала «Шереметьево-Карго», агентам наземного обслуживания «Шереметьево-Хэндлинг» и сотрудникам авиакомпаний «Air China Cargo» и «Аэрофлот» за предоставленные данные и бесценный опыт сотрудничества.

1. **Матюнина А. И., Дятчин А. В.** Прогнозная аналитика в сфере гражданской авиации: применение современных технологий для оптимизации операций и повышения безопасности полётов //Вестник науки. – 2025. – Т. 4. – №. 1 (82). – С. 1026-1032.
2. All about the Weight and Balance Manual = Всё о руководстве по центровке [Электронный ресурс] – <https://www.uldcare.com/articles/library/care/all-about-the-weight-and-balance-manual/> (дата доступа: 15.02.2024).
3. Aircraft Accident Report: Fine Air, Douglas DC-8-61F, Miami, August 7, 1997.
4. Doc 10004 Глобальный план обеспечения безопасности полетов. Издание 2023–2025 гг. // ИКАО. — 2019. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.icao.int/Meetings/a40/Documents/10004_en.pdf (дата обращения: 11.11.2024).

РАЗДЕЛ 2

**БОРТОВЫЕ
ИНФОРМАЦИОННО-
УПРАВЛЯЮЩИЕ
СИСТЕМЫ НАЗЕМНЫХ
ТРАНСПОРТНО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
СРЕДСТВ**

АДАПТИВНЫЙ ЗАКОН УПРАВЛЕНИЯ ПОДВОДИМОЙ МОЩНОСТЬЮ К ДВИЖИТЕЛЮ КОЛЕСНОЙ МАШИНЫ

*Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана, г. Москва,
rlgazizullin@bmstu.ru*

Введение

Высокоподвижные колесные машины предназначены для движения по дорогам и местности в различных дорожно-грунтовых условиях, что сопровождается частым и значительным по величине изменением тяговых сил и сил сопротивлений качению. В этой связи, для сохранения показателей подвижности машины и обеспечения низких затрат энергии при выполнении транспортных задач необходимо непрерывно в процессе движения изменять режим работы от полностью заблокированного до дифференциального в случае механической трансмиссии. При этом выбираемый водителем режим работы трансмиссии не всегда является рациональным. Таким образом, разработка единого адаптивного закона управления подводимой мощностью к движителю, обеспечивающего минимальные потери энергии при сохранении подвижности машины в широко изменяющихся дорожных условиях является актуальной задачей.

При этом очевидно, что разработка подобного единого закона распределения мощности между движителями должна быть связана с возможностью использования дополнительной информации о взаимодействии колес с опорной поверхностью. В связи с этим, в работе предлагается в качестве дополнительного источника информации для формирования адаптивного закона управления подводимой мощностью использовать силовые факторы, реализуемые на оси колеса в процессе движения, путем установки динамометрических колес, являющихся неотъемлемой частью конструкции колесной машины.

Основная часть

Цель исследования – повышение энергоэффективности высокоподвижных колесных машин путем применения адаптивного к условиям движения закона управления подводимой мощностью к движителю.

Сцепные свойства движителя с опорной поверхностью, как правило, характеризуется ее типом и параметрами движителя [1]. Таким образом, ожидаемый коэффициент сцепления (математическое ожидание) может

быть назначен водителем из кабины путем визуальной оценки по аналогии с регулированием давления воздуха в шинах. В этой связи, при формировании адаптивного закона управления подводимой к движителю мощностью коэффициент сцепления считается известной величиной, а коэффициент сопротивления качению – неизвестной величиной.

Для повышения энергоэффективности прямолинейного движения колесной машины целесообразно распределять мощность по колесам так, чтобы мощность потерь, возникающая при качении колеса $N_{f\Sigma}$, достигала минимального значения. Исходя из этого в качестве целевой функции принята удельная величина, представляющая собой отношение мощности потерь $N_{f\Sigma}$ к скорости движения машины v_x , которая характеризует потери энергии на единицу пройденного пути.

При формировании закона приняты допущения о том, что движение происходит при пренебрежимо малых углах увода колес и скорость движения машины определяется исходя из усредненных угловых скоростей вращения колес. Обоснованность принятых допущений доказывается при проведении вычислительных экспериментов. При этом для оценки линейной скорости машин могут быть применены более точные методы, формирование которых является предметом дальнейших исследований.

Таким образом, целевая функция $N_{f\Sigma}/v_x$ для случая криволинейного движения примет вид:

$$\frac{N_{f\Sigma}}{v_x} = \frac{\sum_{i=1}^n M_{ki} \omega_i - \sum_{i=1}^n P_{xi} v_i}{v_x} = \sum_{i=1}^n M_{ki} \frac{\omega_i}{v_x} - \sum_{i=1}^n P_{xi} \frac{v_i}{v_x} \rightarrow \min, \quad (1)$$

Также необходимо учесть, что суммарная тяговая сила на всех осях колес определяется внешними условиями и должна соответствовать некоторой требуемой величине $P_{\text{треб}}$ для сохранения возможности движения машины, то есть в процессе оптимизации при поиске минимума целевой функции необходимо учесть следующее ограничение типа равенство:

$$\sum_{i=1}^n P_{xi} - P_{\text{треб}} = 0. \quad (2)$$

Для решения задачи оптимизации применен метод множителей Лагранжа.

Выражение для определения $\partial P_{xi}/\partial s_i$, которое потребовалось при проведении аналитических преобразований, было получено следующим образом. Часто для описания изменения продольной силы на оси колеса от коэффициента буксования используют экспоненциальную зависимость вида [3]:

$$P_x = P_{x \max} (1 - e^{-s/s_0}) = \mu_{x \max} P_z (1 - e^{-s/s_0}). \quad (3)$$

Получим величину $\partial P_x/\partial s$ с использованием зависимости (3):

$$\frac{\partial P_x}{\partial s} = \frac{\mu_{x \max} P_z}{s_0} e^{-s/s_0}. \quad (4)$$

Подставляя (4) в (3), получим:

$$\frac{\partial P_x}{\partial s_i} = \frac{\mu_x \max P_z - P_x}{s_0}. \quad (5)$$

Выражение (5) позволило аналитически в общем видео получить решение задачи: адаптивный закон управления подводимой мощностью к двигателям колесной машины [3, 4], а именно величины крутящих моментов, которые необходимо реализовать на каждом из колес, для обеспечения минимальных потерь на движение:

$$\begin{cases} M_{ki} = \left(M_0 + \sum_{j=1}^n \frac{B_j}{A_j} + \sum_{j=1}^n \frac{C_j}{A_j} - B_i \sum_{j=1}^n \frac{1}{A_j} - C_i \sum_{j=1}^n \frac{1}{A_j} \right) / \left(A_i \sum_{j=1}^n \frac{1}{A_j} \right); \\ A_i = \frac{\omega_i^2 \cos \theta_i}{\left(1 - \frac{y_{ki}}{R_{\Pi}} \right) \frac{\partial P_x}{\partial s_{xi}}}; B_i = \omega_i v_x; C_i = \frac{y_{ki} - R_{\Pi}}{R_{\Pi} r_0 \cos \theta_i} v_x^2; \frac{\partial P_x}{\partial s_i} = \frac{P_{zi} \mu_{\max x i} - P_{xi}}{s_{0i}}. \end{cases} \quad (6)$$

Работоспособность и эффективность полученного закона доказываются путем проведения вычислительных экспериментов как при прямолинейном, так и криволинейном движении с различными скоростями и радиусами поворота в стационарной и динамической постановке (рис. 1 и 2).

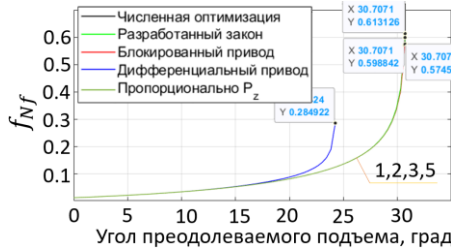


Рис. 1. Зависимость f_{Nf} от угла преодолеваемого подъема

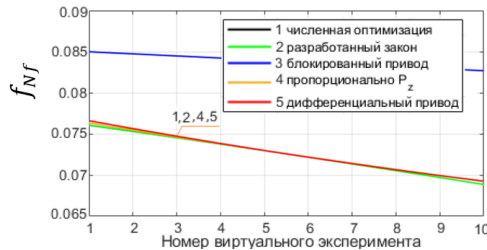


Рис. 2. Зависимость f_{Nf} от номера виртуального эксперимента при движении в повороте

Заключение

Проведенные исследования позволили в аналитическом виде получить единый закон адаптивного управления подводимой мощностью к двигателям, обеспечивающий близкое к оптимальному распределение моментов по ведущим колесам машины.

Основное преимущество разработанного закона, основанного на использовании информации лишь о подведенном моменте, продольной и вертикальной силах, а также углах поворота и частотах вращения ведущих колес, состоит в том, что единый подход к управлению подводимой мощностью к двигателю позволит обеспечить как высокие тяговые свойства для преодоления высокого сопротивления движению (близкие к заблокированной схеме трансмиссии, рис. 1), так и низкие затраты мощности при движении в повороте (близкие к дифференциальной схеме трансмиссии, рис. 2).

1. **Косицын Б.Б., Чжэн Х., Газизуллин Р.Л.** Модернизация управляющей и измерительной системы стенда «Грунтовый канал» и разработка математической модели движения колеса в условиях стенда // Труды НАМИ. 2021. № 1 (284). С. 25-34.
2. **Janosi Z., Hanamoto B.**, The analytical determination of drawbar pull as a function of slip for tracked vehicles in deformable soil //Intern. Conf. on the mechanics of soil-vehicles. -Tyrin. - 1961. -Report 44.- P. 331-359.
3. **Котиев Г.О., Косицын Б.Б., Евсеев К.Б., Газизуллин Р.Л., Чжен Х.** Закон оптимального управления подводимой мощностью к двигателю колёсной машины при прямолинейном движении // Труды НАМИ. – 2022. – № 4 (291). – С. 43–57.
4. **Котиев Г.О., Горелов В.А., Косицын Б.Б., Газизуллин Р.Л., Бяков К.Е.** Закон оптимального управления подводимой мощностью к двигателю колёсной машины при криволинейном движении // Тракторы и сельхозмашины. 2024. Т. 91, № 6. С. 723–739.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПЛОСКОЙ ДВУХМАССОВОЙ СИСТЕМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДЕЛИ КЕЛЬВИНА-ФОЙГТА

¹Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана, г. Москва, yhl2671818702@gmail.com,

²Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, г. Москва,
reshmin@ipmnet.ru

Введение

Колесные системы используются в различных промышленных областях таких, как машиностроение, автомобилестроение и многих других. Из-за эффекта проскальзывания на поверхности дороги транспортное средство может оказаться в неустойчивом состоянии при резком ускорении. В результате могут возникнуть низкочастотные колебания ведущих колес в направлении, перпендикулярном земле, амплитуда которых значительно увеличивается со временем [1]. Из-за трения между шинами и землей режим движения системы станет более сложным [2]. Подавление нежелательных колебаний в определенном направлении является важной задачей для обеспечения бесперебойной работы систем [3].

Для описания упругого взаимодействия компонент системы предлагается использовать упругие пружины Гука, параллельно соединенные с гидравлическим поршневым демпфером (модель Кельвина-Фойгта). Основная цель данной работы заключается в разработке детализированной нелинейной математической модели, позволяющей глубоко и всесторонне описать динамические свойства рассматриваемой системы, включая контактные взаимодействия и отрывы колеса от поверхности. При моделировании мы не учитываем вес шины. Считаем, что он незначителен по сравнению с массой внутреннего диска.

Описание механической системы

Колесо моделируется в виде однородного сплошного твердого диска, к которому прикреплены совокупность невесомых линейных пружин и демпферов, соединенных параллельно. Противоположные концы композиции пружин и демпферов соединены с твердым недеформируемым кольцом, как показано на рисунке 1. На колесный диск действует дополнительная вертикальная нагрузка массой m_c корпуса автомобиля, связанная с диском через параллельно соединенные пружину Гука и гидравлический элемент. Укажем параметры механической системы: масса диска m_a , момент инерции диска I_a , коэффициент трения f в законе

Амонта-Кулона для описания контакта колеса с основанием. На диск действует внешний крутящий момент M , заставляющий изменять угол поворота диска α и угол поворота кольца β соответственно.

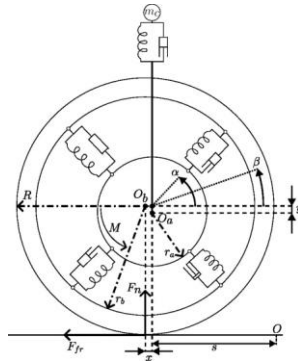


Рис. 1. Модель двухмассовой системы

Оси вращения элементов системы параллельны, причем горизонтальное смещение центра кольца относительно горизонтального положения центра диска характеризуется относительной координатой x , а вертикальное смещение центра диска относительно самого низкого возможного положения центра кольца характеризуется относительной координатой y . Горизонтальное смещение центра диска относительно точки начального положения системы O характеризуется координатой s . Координата z характеризует деформацию пружины, соединяющей диск и корпус автомобиля. Обобщенная координата h описывает смещение центра кольца относительно его самого низкого возможного положения в случае отрыва колеса.

Нелинейная математическая модель колесной системы

Описывая функции кинетической энергии K и потенциальной энергии системы Π , нетрудно построить функцию Лагранжа системы $L = K - \Pi$. Выпишем вспомогательные соотношения для составления уравнений Лагранжа:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{x}} = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{h}} = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\beta}} = 0, \quad \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\alpha}} = I_a \ddot{\alpha}, \quad \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{y}} = m_a \ddot{y}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial L}{\partial x} = -kNx + kl \sum_{i=1}^N \frac{x_{bi} - x_{ai}}{\sqrt{(x_{bi} - x_{ai})^2 + (y_{bi} - y_{ai})^2}}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial L}{\partial h} = -kN(h - y) + kl \sum_{i=1}^N \frac{y_{bi} - y_{ai}}{\sqrt{(x_{bi} - x_{ai})^2 + (y_{bi} - y_{ai})^2}}, \quad (3)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \beta} = kNr_a r_b \sin(\alpha - \beta) + kl \sum_{i=1}^N \frac{(x_{bi} - x)(y_{bi} - y_{ai}) - (y_{bi} - h)(x_{bi} - x_{ai})}{\sqrt{(x_{bi} - x_{ai})^2 + (y_{bi} - y_{ai})^2}}, \quad (4)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \alpha} = -kNr_a r_b \sin(\alpha - \beta) + kl \sum_{i=1}^N \frac{(y_{ai} - y)(x_{bi} - x_{ai}) - x_{ai}(y_{bi} - y_{ai})}{\sqrt{(x_{bi} - x_{ai})^2 + (y_{bi} - y_{ai})^2}}, \quad (5)$$

$$\frac{\partial L}{\partial y} = kN(h - y) - kl \sum_{i=1}^N \frac{y_{bi} - y_{ai}}{\sqrt{(x_{bi} - x_{ai})^2 + (y_{bi} - y_{ai})^2}} + k_0(z - y) - m_a g, \quad (6)$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{z}} = m_c \ddot{z}, \quad \frac{\partial L}{\partial z} = -k_0(z - y) - m_c g, \quad \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{s}} = (m_a + m_c) \ddot{s}, \quad \frac{\partial L}{\partial s} = 0. \quad (7)$$

Отметим, что анализа движения системы необходимо рассмотреть режимы движения системы четырех типов: (1) качение; (2) проскальзывание влево; (3) проскальзывание вправо; (4) отрыв шины от контактной поверхности.

Второй и третий авторы выполняли исследование по госзаданию № 124012500443-0.

Заключение

В работе исследуется нелинейная динамика математической модели раскручиваемой двухмассовой механической системы, представляющей собой модель колеса. Проанализирована динамика процесса раскрутки системы при наличии и отсутствии проскальзывания шины на поверхности основания и контакта с поверхностью.

1. **Решмин, С.А.** Качественный анализ нежелательного эффекта потери силы тяги транспортного средства во время интенсивного старта / С.А. Решмин // Доклады Академии наук. – 2019. – Т. 484, № 3. – С. 289–293.
2. **Розенблат, Г.М.** Сухое трение и односторонние связи в механике твердого тела / Г.М. Розенблат. – Москва: URSS, 2010. – 205 с.
3. **Васенин, С.А.** Управление подавлением радиальных колебаний двухмассовой системы с одновременным ее раскручиванием / С.А. Васенин, С.А. Решмин // Прикладная математика и механика. – 2023. – Т. 87, № 6. – С. 970–983.

А.В. Келлер¹, А.В. Климов², С.С. Шадрин³, А.В. Попов⁴

МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИОННОГО СИНТЕЗА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИКОЙ ДВИЖЕНИЯ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

*¹Московский политехнический университет, Федеральное
государственное унитарное предприятие «Центральный
научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт
«НАМИ», г. Москва, andreikeller@rambler.ru,*

*²Московский политехнический университет, ООО "Инновационный
центр КАМАЗ", г. Москва, Aleksandr.Klimov@kamaz.ru*

*³Московский политехнический университет, г. Москва
s.s.shadrin@mospolytech.ru*

*⁴Московский политехнический университет, Федеральное
государственное унитарное предприятие «Центральный
научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт
«НАМИ», г. Москва, popov.andrey@gmail.com*

Введение

Развитие интеллектуальных систем управления является одной из наиболее актуальных тенденций современной автомобильной промышленности. С каждым годом автомобиль становится всё более совершенным техническим объектом, представляющим собой сложную, иерархически организованную систему взаимодействующих элементов (подсистем), которые информационно связаны и целенаправленно функционируют. По своему функциональному назначению автотранспортное средство как система охватывает ряд многозначимых взаимообусловленных свойств: динамики, устойчивости и управляемости, безопасности и надежности, виброзащиты и комфортабельности водителя, пассажиров и грузов. Каждое из этих свойств занимает важное место и неразрывно связано с другими, хотя и имеет разную значимость.

Основная часть

Современный автомобиль функционирует в постоянно меняющихся условиях внешней среды, что приводит к неполной информации об их фазовом состоянии и наличию неконтролируемых возмущений. Они чрезвычайно разнообразны и определяются параметрами дорожных, эксплуатационно-технических, природно-климатических характеристик,

маршрутами и фазами движения, режимами нагружения, различными ситуациями, ограничениями и т.д. В этой связи системы управления автомобилем и в первую очередь системы активной безопасности (СAB) и помощи водителю (ADAS) должны быть обеспечены информацией о условиях движения автомобиля. Современная сенсорная часть CAB и ADAS в настоящее время не может обеспечить прямое измерение всех параметров, которые необходимы для ее адекватного и эффективного функционирования. Для решения этой проблемы требуются методы, позволяющие идентифицировать неизмеряемые параметры и проверять измеряемые с помощью косвенных методов и математических структур, которые моделируют движение автомобиля и работу его бортовых систем. В частности, использование подобных методов, позволит косвенным образом идентифицировать дорожные условия, включая состояние покрытия опорной поверхности, по которой движется транспортное средство, вследствие чего может быть повышена адекватность и эффективность срабатывания систем активной безопасности.

Кроме того, традиционный механический привод в силовой передаче, а также гидравлический или пневматический привод в тормозных системах и рулевом управлении не могут удовлетворить современные требования к транспортным средствам, в первую очередь в части точности управления, скорости реагирования и высокой степени интеграции. В связи с этим перед конструкторами и разработчиками встают новые задачи по поиску путей синтеза принципиально новых мехатронных решений в трансмиссиях и механизмах управления, направленных на улучшение динамики и безопасности автомобиля. Совершенно очевидно, что для решения этой проблемы необходимы новые подходы, пути и методы, отличные от классических. Эти пути и методы должны быть концептуально обоснованы и основываться на фундаментальных теоретических разработках и соответствующем математическом аппарате.

Необходимым условием для достижения указанной цели является использование современных кросс-отраслевых мультидисциплинарных подходов, позволяющих достигнуть требуемых потребительских характеристик продукции при уменьшении количества натурных испытаний, сокращении сроков разработки.

Актуальность темы обусловлена критическим разрывом между повышающимися требованиями к безопасности и энергоэффективности транспортных средств и существующими методами создания и управления мехатронными системами автомобиля.

Проект направлен на разработку методов оптимизационного синтеза интеллектуальных систем управления динамикой движения наземных транспортных средств в условиях неполной информации об их фазо-

вом состоянии при наличии неконтролируемых возмущений, позволяющих повысить безопасность и энергоэффективность электромобилей в сложных дорожно-климатических условиях. Результаты проекта имеют важное значение для развития интеллектуальных мехатронных систем управления электрических транспортных средств, эксплуатирующийся в дорожных условиях, характерных для Российской Федерации, а также создания отечественной автокомпонентной базы, превышающей достигнутый мировой уровень.

Научная новизна исследования заключается в:

- разработке методов оптимизационного синтеза интеллектуальных мехатронных систем, позволяющих на стадии проектирования синтезировать рациональную конфигурацию систем управления движением и алгоритмов их функционирования;
- формировании комплексных методов управления динамикой движения электрических транспортных средств на основе интеграции мехатронных элементов трансмиссии, тормозных систем и рулевого управления.
- разработке новой структуры системы идентификации параметров движения автомобиля средств в условиях неполной информации об их фазовом состоянии при наличии неконтролируемых возмущений на основе нелинейных наблюдателей, нелинейной математической модели движения автомобиля и данных физических измерений.

Практическая значимость работы заключается в создании научных основ для разработки и производства критических автокомпонентов, повысить уровень технологической готовности отечественных решений и вывести на международный рынок автокомпоненты российского производства, преодолев сдерживающие развитие отрасли факторы.

Заключение

Таким образом, исследование направлено на разработку методов оптимизационного синтеза интеллектуальных мехатронных систем управления динамикой движения наземных транспортных средств в условиях неполной информации об их фазовом состоянии при наличии неконтролируемых возмущений, является актуальным и соответствует указу президента «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» в части достижения технологического лидерства по направлению развития транспортной мобильности и автономных транспортных средств, а также соответствует Плану фундаментальных и поисковых научных исследований на 2021 - 2030 годы.

Задачи проекта соответствуют содержанию национального проекта технологического лидерства «Промышленное обеспечение транспортной мобильности», проекта «Национальная инновационная модульная платформа» и «Стратегии развития автомобильной промышленности Российской Федерации до 2035 г.».

Э.А. Оганян, Р.Н. Хмелев

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ КОЛЕСНЫХ САМОХОДНЫХ МАШИН

*ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», г. Тула,
aiah@yandex.ru*

Современные самоходные машины с электрическим приводом находят широкое применение в различных отраслях промышленности и транспорта. Одним из ключевых элементов системы электрического привода является система управления электродвигателем. Целью данной работы является разработка обобщенной математической модели системы управления электрическим приводом колесных самоходных машин.

В данной работе объектом исследования являлась колесная электрическая самоходная машина категории АП авторской конструкции с тяговым электродвигателем постоянного тока мощностью 5 кВт с последовательным возбуждением обмоток, в качестве источника электроэнергии использовались тяговые аккумуляторные батареи LiFePO4 емкостью 200 А/ч [1].

Принципиальная схема электрического привода самоходной машины представлена на рис. 1.

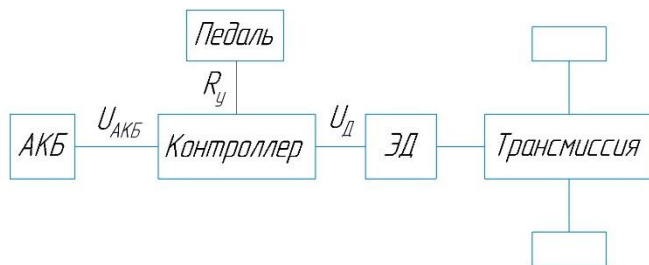


Рис. 1. Принципиальная схема электрического привода самоходной машины

Педаля акселератора в данной системе выполняет функцию формирования информационного сигнала, поступающего на контроллер [2]. Данный сигнал реализуется в виде переменного сопротивления R_y в диапазоне от 0 до 5 кОм, зависящего от процента нажатия (или углового положения) педали. В данном случае диапазон рабочих режимов педали акселератора составляет: $0^\circ \leq \varphi_n \leq 30^\circ$, где φ_n – угол нажатия на педаль акселератора.

Экспериментальным путем было установлено, что зависимость сопротивления, формируемого педалью акселератора, от процента её нажатия является нелинейной (рис. 2).

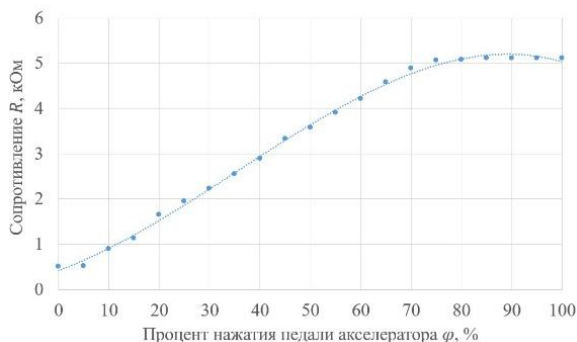


Рис. 2. График зависимости выходного сопротивления от процента нажатия педали акселератора $\varphi = \frac{\varphi_n}{\varphi_{\max}} \cdot 100\%$

Контроллер системы управления, преобразуя входные данные, управляет частотой вращения электродвигателя путем изменения выходного напряжения. Напряжение на выходе контроллера для рассматриваемой конструкции привода изменяется в диапазоне от 0 до 78 В, что соответствует напряжению тяговой аккумуляторной батареи $U_{\text{АКБ}}$ [3].

Для математического описания работы контроллера предлагается использовать модель типа «черный ящик».

В результате проведения серии натурных экспериментов было установлено, что при резком нажатии на педаль акселератора контроллер не обеспечивает мгновенной подачи максимального напряжения на электродвигатель. Вместо этого реализуется режим плавного нарастания выходного напряжения. Это обусловлено необходимостью обеспечения плавного трогания с места и защиты электрических компонентов от перегрузок. Подобная задержка характерна для всех типов электрических приводов самоходных машин [4].

Модель системы управления электрическим приводом может быть представлена в следующем виде:

$$\varphi(t) \xrightarrow{R_y(\varphi)} R_y(t) \xrightarrow{U_d(R_y)} U_d(t).$$

Для определения характеристик системы управления был проведён натурный эксперимент, направленный на выявление зависимости выходного напряжения контроллера U_d от управляющего сопротивления, формируемого педалью акселератора R_y . Активное сопротивление педали акселератора определялось косвенным методом. В ходе эксперимента фиксировались значения следующих параметров:

- угол нажатия педали акселератора, φ_n ;
- падение напряжения на педали акселератора, U_n ;
- ток, протекающий по педали акселератора I_n ;
- выходное напряжение контроллера U_d .

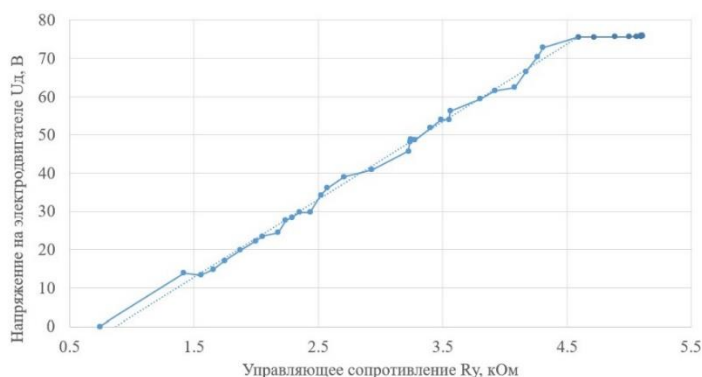


Рис. 3. График зависимости управляющего сопротивления от напряжения на электродвигателе

Результаты проведённого эксперимента показали:

В диапазоне управляющего сопротивления от 0,5 кОм (что соответствует 0 % нажатия на педаль) до 4,5 кОм (65 % нажатия на педаль) зависимость между напряжением на двигателе и управляющим напряжением описывается линейным уравнением:

$$U_d = 20,317 \cdot R_y - 17,677.$$

При дальнейшем увеличении управляющего напряжения, соответствующем диапазону от 65 % до 100 % нажатия на педаль, напряжение на

электродвигателе достигает значения напряжения на аккумуляторной батарее и далее сохраняется на этом уровне:

$$U_d = U_{\text{АКБ}}.$$

Предложенный обобщенный подход к математическому описанию системы управления электрическим приводом может использоваться в математических моделях приводов для имитационного моделирования переходных режимов и ездовых циклов самоходных машин рассматриваемого класса.

1. Патент № 2797075 Грузопассажирский электробус: № 2023103836 : заявл. 20.02.2023 : опубл. 31.05.2023 / М.А. Антоненков, Э.А. Оганян, П.С. Подколзин
2. **Оганян Э.А., Хмелев Р.Н., Елецкая Г.П.** Математическая модель двигателя постоянного тока в составе привода самоходной машины // Известия ТулГУ. Технические науки. 2024. №12. С. 638-642.
3. **Груничев А.В., Елагин М.Ю., Оганян Э.А., Хмелев Р.Н.** Математическое моделирование электрической силовой установки автотранспортных средств // Мир транспорта и технологических машин. 2025. № 1-4(88). С. 37-43.
4. **Давыдов В.А., Третьяков Е.А.** Модернизация систем управления тяговыми электродвигателями постоянного тока / Теория и практика современной науки: Материалы III Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Новокузнецк: Издательство "Знание-М", 2023. С. 74-80.

О.П. Гойдин¹, Б.Б. Косицын², А.А. Стадучин²

ЗАКОН УПРАВЛЕНИЯ СОЧЛЕНЕННЫМ КОЛЕСНЫМ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ СО СЛОЖНЫМ ПРОФИЛЕМ

¹ *Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова», г. Москва,*

² *Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва,
goidin@vniia.ru, kositsyn_b@bmstu.ru, ant.m9@yandex.ru*

Введение

Очевидно, что удобство управления безэкипажным мобильным робототехническим комплексом (МР) оказывает существенное влияние на

эффективность выполнения различных задачи. В связи с этим актуальным является снижение нагрузки на оператора путем частичной автоматизации управления приводами МР, обеспечивающими его движение, в следствии чего достигаются более высокие средние скорости движения и, соответственно, лучшая подвижность.

В данной работе предложен закон управления, обеспечивающий преодоление сложных препятствий, который может существенно увеличить безопасность, скорость и энергоэффективность движения сочлененного колесного МР по опорному основанию со сложным профилем. Объектом исследования является шестиколесный МР, который способен менять расстояние между осями колес, а также обеспечивать вертикальное складывание секций [1].

Основная часть

Разработка и проверка эффективности предложенного закона управления движением проводилась с помощью специальной имитационной компьютерной модели, предназначенной для исследования пространственного движения машин с изменяемой конфигурацией ходовой части. Модель позволяет проводить имитацию движения машины в режиме «реального времени» и сравнивать результаты преодоления различных препятствий под управлением операторов и с использованием предложенного закона.

Разработанный комплексный закон управления движением МР включает несколько режимов и позволяет обеспечивать преодоление таких препятствий как лестницы, уступы, рвы и т.п. При этом обеспечивается автоматическое определение типа препятствия за счет «ощущения» движителя (динамометрических колес) и без применения технического зрения, что является актуальным при движении МР в условиях плохой видимости. В общем виде закон был представлен в докладе [2], в данной работе предлагается рассмотреть случай преодоления вертикального уступа с размерами, превосходящими размеры движителя МР (рис. 1). Указанное препятствие является одним из наиболее тяжелых – заезды под управлением оператора зачастую заканчивались опрокидыванием МР.

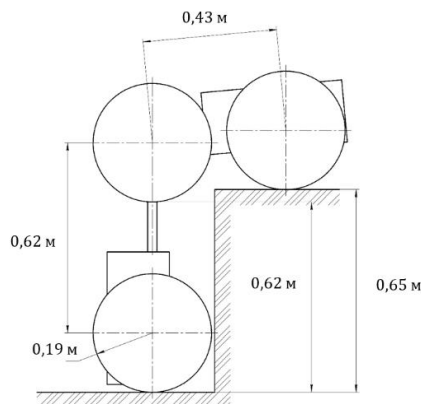


Рис. 1. Расчетная схема преодоления препятствия типа «Уступ» МР

Алгоритм преодоления препятствий (и закон управления МР в целом) построен с использованием принципа машины состояний (рис. 2).

Состояние «Свободный» характеризуется выключенным и освобожденным приводом вертикального складывания и полностью сдвинутыми секциями МР. Состояние позволяет перемещаться по сравнительно ровному опорному основанию, но главным образом служит для определения типа препятствия, после того как МР начал его преодоление. Так, в случае достижения угла складывания секций более 34 градусов, препятствие определяется как «Уступ» и осуществляется переход в состояние «Вверх1».

В состоянии «Вверх1» поддерживается постоянный угол складывания секций 34 градуса. На рис. 2 можно видеть, что в этом состоянии вторая ось не нагружена весом машины. Возникновение нагрузки на этой оси (по причине касания опорного основания) служит условием для перехода в состояние «Вверх2».

Состояние «Вверх2» отвечает за преодоление крупного препятствия второй осью МР и предотвращение «сползания» машины. В связи с тем, что в данном состоянии принципиально важно обеспечить высокое сцепление колес МР с опорной поверхностью, то предлагается использовать управление углом складывания секций для поддержания нагрузки на переднюю ось соответствующей статической нагрузке первой оси на горизонтальной поверхности. Задняя секция при этом полностью выдвинута, что обеспечивает максимальную высоту подъема колес второй оси по отношению к нижней части уступа.

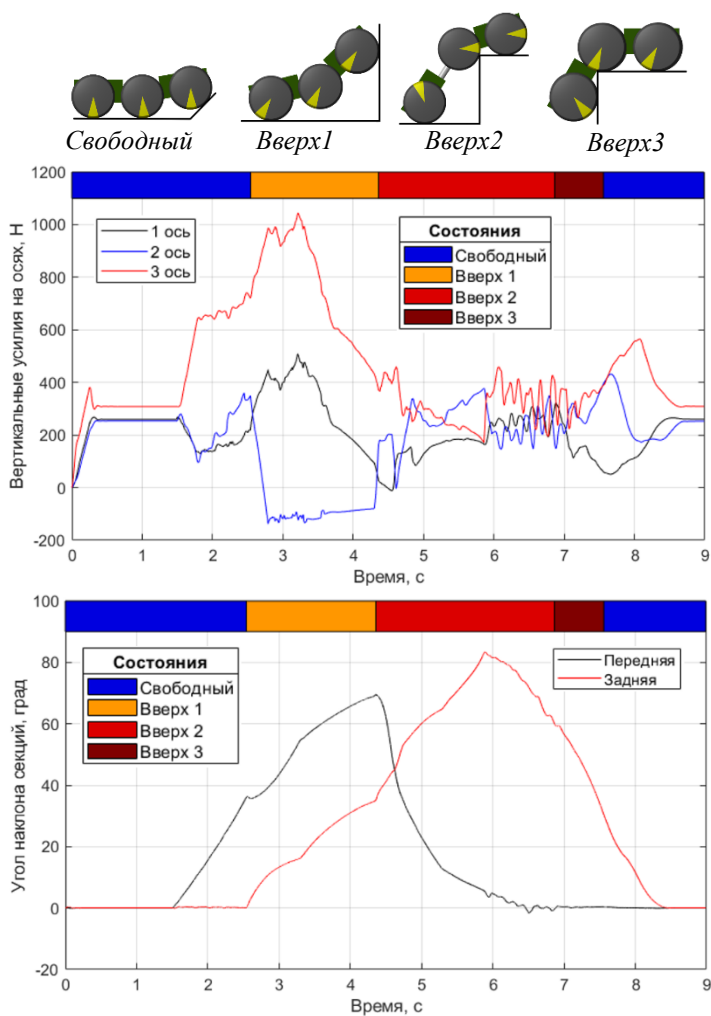


Рис. 2. Временная реализация вертикальных усилий на осях колес (сверху), угла наклона секций (снизу), а также состояний закона управления движением при преодолении препятствия типа уступ

Выход из состояния «Вверх2» осуществляется в случае, когда вторая ось надежно преодолела уступ, то есть когда высота подъема второй оси H_2 , приблизилась к высоте препятствия $H_{12} = 0,65$ м (путем многочисленных вычислительных экспериментов было установлено, что для успешного преодоления препятствия достаточно достичь $H_2 > 0,95 H_{12}$).

Кроме того, выход из указанного режима осуществляется в случае достаточного «выпрямления» секций.

Состояние «Вверх3» необходимо для подъема на уступ третьей оси МР. При этом осуществляется управление приводом складывания секций с целью поддержания постоянной вертикальной нагрузки на третьей оси, что позволяет реализовать на ней некоторую тягу и уменьшить риск «сбрасывания» машины с уступа. При выпрямлении секций (угол складывания больше -30°) система управления возвращается в состояние «Свободный», так как подразумевается, что препятствие преодолено.

Заключение

На примере данного исследования удалось доказать эффективность разработанного закона управления движением. Так, движение в автоматическом режиме обеспечило значительное преимущество в скорости и энергоэффективности преодоления уступа (оператор затратил на преодоление препятствия на 20,2 % больше времени и на 34,4% больше энергии). Также следует отметить больший на 5,1% максимальный угол наклона задней секции в случае управления оператором, что говорит о большем риске опрокидывания МР.

Необходимо учесть, что операторы в данном исследовании имели значительные преимущества, которые невозможно обеспечить при работе в зоне техногенной катастрофы и условиях плохой видимости – возможность наблюдать препятствие и положение мобильного робота с любого ракурса, а также не испытывали усталости и стресса, которые обычно сопровождают эксплуатацию МР в реальных условиях (близость опасной среды, материальная и моральная ответственность при потере робота или срыве задачи и т.д.). Таким образом, видится целесообразным дальнейшая разработку данного закона управления движением МР и внедрение его на практике.

1. **Гойдин, О.П.** Синтез алгоритмов эффективного движения для повышения мобильности и автономности сочлененного робототехнического комплекса в недетерминированной внешней среде // Вестник МГТУ «Станкин». 2020. №2(53). С. 61-72
2. **Гойдин, О.П.,** Комплексный закон управления движением сочленённого колесного мобильного робота /О.П. Гойдин, Б.Б. Косицын, А.А. Стадухин// Перспективные системы и задачи управления: Сборник трудов XX Юбилейной Всероссийской научно-практической конференции. п. Донбай, Карачаево-Черкесская Республика, 2025. С. 241-245.

ОБЗОР ЭТАПОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ АППАРАТНОЙ ЧАСТИ БПЛА

Северный (Арктический) Федеральный Университет
им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск, d.petrov@narfu.ru,
r.aleshko@narfu.ru, k.shoshina@narfu.ru

В современном мире наблюдается стремительное развитие беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Это перспективное направление предвещает широкое применение беспилотных авиационных систем (БАС) в различных сферах деятельности. Прогресс в области электроники, включая разработку миниатюрных электромеханических устройств и компактных, но мощных электродвигателей, позволяет создавать маленькие и легкие устройства, способные выполнять разнообразные задачи.

В рамках данной статьи выделяются такие этапы жизненного цикла, являющиеся основными при разработке системы, как анализ требований, проектирование конструкции, разработка и настройка системы, тестирование и эксплуатация, модернизация и утилизация.

Выделяются принципы определения ключевых характеристик БПЛА [1], сформирована таблица характеристик, которая позволяет распределить различные системы БПЛА в определённый класс на основе приведённых выше параметров.

Класс	Категория	Обозн. в мире	Обозначение	Наименование	Взлётный вес, кг	Радиус действия, км	Практич. потолок, м	Предлож. полета, ч
Малые	I	н	н	Нано	<0,025	<1	100	<1
		м	м	Микро	<5	<10	3000	1
		Млн	Мини	Мини	<25	10 – 40	3000	≤4
Легкие	II	CR	БЛД	Ближнего действия класса 1	25 – 50	25 – 70	3000	2 – 4
		SR	МД	Ближнего действия класса 2	50 – 150	50 – 100	3000	≤6
Средние	III	MR		Малой дальности	≤200	≤150	4000	6 – 8
		MRE	СД	Средней дальности	≤900	200	5000	10 – 12
	IV	LADP		Средней дальности с большой продолжительностью полета (СД-БПП)	500	500	8000	10 – 18
		LADP		Маловысотный большой дальности (МБД)	≤250	>250	≤4000	1,5 – 2
Тяжелые	V	LALF		Маловысотный большой продолжительности полета (МБД-БПП)	≤250	>500	4000	18
	V-VI	MALE	БД	Средневысотный большой продолжительности полета (СБД-БПП)	≤1000	>1000	8000	24
	VII	MALE		Высотный большой продолжительности полета (ВБД-БПП)	≤2500	>4000	20000	>24
Боевые	VIII	UCAV		Беспилотный ударный (Б-У)	>1000	>500	12000	1,5 – 2
		DEC	Б	Ложная цель (Б-Л)	150 – 500	0 – 500	50 – 5000	<4
		TGT		Воздушная мишень (Б-М)	10 – 10000	5 – 200	50 – 10000	>0,5
Специальные	IX	ORA	ОП	Пилотируемый по выбору (специально) ЛА	≤200			
		SMA	ПП	Переоборудованный пилотируемый ЛА				

Рис. 1. Таблица характеристик под каждый класс БПЛА

Далее, описываются программы для создания чертежей и 3D-моделей [2] совместно с примерами использования векторных и 3D-редакторов, а также особенности печати/резки конструкции [5].

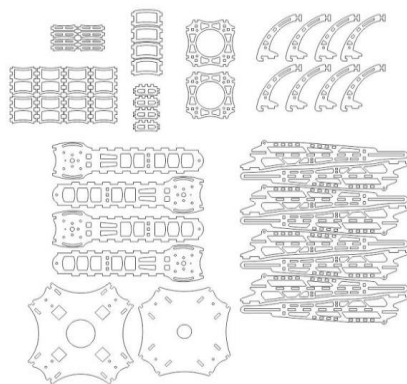


Рис. 2. Чертежи рамы в векторном редакторе CorelDRAW X8

Затем, описываются этапы разработки и настройки системы БПЛА [3]. Указываются элементы, особенности калибровки и первичной настройки [4].



Рис. 3. БПЛА после процесса сборки

В конце, описываются этапы тестирования и эксплуатации, а также модернизации и утилизации компонентов системы. Указываются детальное описание данных этапов, особенности реализации.

Таким образом, в статье были определены этапы жизненного цикла работы БПЛА, а также краткое описание и рекомендации по реализации каждого этапа. Использование данных технологий позволит расширить процесс проектирования и разработки системы посредством внедрения новых направлений и методик реализации определённых этапов, что в

дальнейшем позволит реализовывать более сложные проекты в данной сфере.

1. **В.С. Фетисов, Л.М. Неугодникова, В.В. Адамовский, Р.А. Красноперов.** Беспилотная авиация: терминология, классификация, современное состояние [Электронный ресурс]. URL: <http://coollib.com/b/322192/read> (дата обращения: 21.04.2025).
2. **Зайцев А., Назарчук И. и др.** Беспилотные ЛА зарубежных стран (рус.) // Армейский сборник: журнал. – 2015. – Февраль (т. 248, № 2). – С. 40-44.
3. **Микушин А.В.** Цифровые устройства и микропроцессоры: учебник / А. В. Микушин, А. М. Сажнев, В. И. Сединин – Санкт-Петербург: БХВПетербург, 2010. – 462 с.
4. Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами [Электронный ресурс] URL: <http://mil.ru/files/morf/Sbornik-konferencii-2017> (дата обращения 01.05.2025)
5. **Шилов, К.Е.** Разработка системы автоматического управления беспилотным летательным аппаратом мультироторного типа / Шилов, К. Е. — Москва: ДМК Пресс, 2014. — 116 с.

Г.О. Котиев, Н.В. Бузунов

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ БОРТОВЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

*Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана, г. Москва, kotievgo@yandex.ru, buzunovnv@bmstu.ru*

Введение

Бортовая информационно-управляющая система (далее – БИУС) представляет собой комплекс программно-аппаратных средств, предназначенных для функционирования в составе объектов наземной техники и осуществляющих функции автоматизированного управления, контроля и диагностирования узлов, агрегатов и систем объекта управления, а также реализующих интерфейс взаимодействия с водителем (оператором) для восприятия управляющих воздействий и отображения эксплуатационных параметров, диагностических данных и видеoinформации.

БИУС осуществляет как информационные функции в отношении водителя или оператора, так и управляющие функции в отношении агрегатов и устройств автомобиля, среди которых выделяют:

- управление источниками энергии, преобразователями энергии, потребителями энергии;
- управление основными системами и агрегатами: рулевое управление, система поддрессоривания, трансмиссия, тормозная система;
- управление вспомогательными системами: светотехника, климатическое оборудование, навигация, диагностической и другими системами;
- информационное обеспечение водителя.

В последнее время в качестве одного из основных функционалов, реализация которого требуется от элементов БУИС, является реализация систем помощи водителю (далее – ADAS-системы).

Разработка компонентов БИУС может осуществляться на ранних этапах проектирования объекта до изготовления опытного образца. В данном случае отладка программной и аппаратных частей компонентов БИУС должна осуществляться с применением имитационных математических моделей реального времени объектов управления.

Описание подхода к проектированию компонентов БИУС

При разработке бортовых контроллеров управления традиционно можно выделить следующие этапы: разработка аппаратной части бортового контроллера из состава БИУС, изготовление бортового контроллера, разработка программной части и отладка программной и аппаратной частей рассматриваемого устройства до изготовления опытного образца объекта, отладка программной части контроллера из состава БИУС в рамках пуско-наладки и различных испытаний.

Процесс отладки программной и аппаратной частей компонентов БИУС в отсутствии опытного образца объекта вызывает ряд вопросов. С одной стороны, данные работы могут заключаться только в проверке корректности работы программного обеспечения на нижнем уровне (порядок взаимодействия с входными и выходными каналами, а также цифровыми интерфейсами) [1]. В тоже время подобный подход приведет к значительному увеличению времени пуско-наладочных работ и испытаний, поскольку только после изготовления опытного образца объекта начнется полноценное тестирование алгоритмов верхнего уровня. Для устранения данной проблемы проверка функционирования алгоритмов верхнего уровня должна осуществляться на ранних этапах разработки до изготовления опытного образца объекта. Рассматриваемый в настоящем исследовании

довании подход к проектированию бортовых систем управления основывается на применении в качестве аналога наземного транспортного средства имитационной математической модели «реального времени». Данный подход предполагает следующие этапы:

- разработка имитационной математической модели «реального времени» динамики рассматриваемого бортового объекта управления или всего транспортного средства с определением необходимых допущений и упрощений при моделировании, которых будет достаточно для проектируемого бортового контроллера и при которых не потребуется значительных вычислительных мощностей для реализации режима «реального времени» [2];

- разработка математической модели алгоритма управления верхнего уровня рассматриваемым бортовым объектом или системой с реализацией интерфейса взаимодействия с имитационной математической модели «реального времени», отладка совместной работы указанных моделей;

- реализация алгоритма управления верхнего уровня в составе бортового контроллера с реализацией интерфейса взаимодействия с имитационной математической модели «реального времени», отладка совместной работы указанных моделей;

- отладка алгоритма управления верхнего уровня в составе бортового контроллера на опытном образце наземного транспортного средства.

Реализация описываемого подхода к разработке бортовых систем управления может быть представлена на примере проектирования системы управления электронагружателем рулевого колеса для транспортного средства, у которого отсутствует жесткая связь рулевого и управляемых колес.

Заключение

Разработка математической модели «реального времени» для обеспечения возможности отладки алгоритмов верхнего уровня БИУС предполагает решение следующих задач [3]:

- определение необходимого уровня проработки модели «реального времени», который позволит в достаточной для разрабатываемого контроллера степени описать функционирование рассматриваемого объекта управления в динамических и статических режимах;

- определение численного метода решения и настроек решателя (шаг интегрирования, величины абсолютной и относительной ошибок и т.д.), обеспечивающих требуемое быстродействие при моделировании, в особенности, динамических процессов;

– определение необходимых параметров для информационного обмена с моделью алгоритма верхнего уровня и, далее, с бортовым контроллером, непосредственная оценка которых будет возможна в составе транспортного средства.

1. **Евсеев, К.Б.** Методы разработки систем управления движением гусеничных и колесных машин с использованием натурно-математического моделирования / К.Б. Евсеев, Н.В. Бузунов, Б.Б. Косицын, Б.В. Падалкин // Материалы XIV Всероссийской мультиконференции по проблемам управления МКПУ-2021. – 2021. – С. 69–72.
2. **Бузунов, Н.В.** Implementation of the interaction of the steering wheel loader control system of the remote-controlled wheeled vehicle operator interface with a real-time simulation model / Н.В. Бузунов, Г.О. Котиев, В.А. Горелов // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – С. 012010.
3. **Бузунов, Н.В.** Моделирование движения колесных машин в режиме «реального времени» для реализации бортовых систем управления автономным ходом / Н.В. Бузунов, Г.О. Котиев, Б.В. Падалкин // Технологии и компоненты интеллектуальных транспортных систем – 2018. – С. 490–503.

А.Н. Илюхин

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ТРАНСПОРТА

*Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ ВО Казанского
(Приволжского) федерального университета, г. Набережные Челны,
Lexusil@rambler.ru*

Бурное развитие искусственного интеллекта привело к появлению технологий беспилотного вождения. Цифровизации транспортных средств уделено большое внимание в «Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года» [1]. При этом появление высокоавтоматизированных транспортных средств на дорогах общего пользования сопряжено большим количеством вопросов, связанных с безопасностью участников дорожного движения и юридических ограничений. Наиболее перспективным выглядит применение беспилотных технологий на закрытых территориях, таких как карьеры, сельскохозяйственные территории, строительные площадки.

Беспилотные технологии используют высокопроизводительные вычислители, что в свою очередь подразумевает большое количество потребления энергии. На данный момент, чтобы не решать вопросы дополнительного энергоснабжения вычислителей, на практике часто применяют транспортные средства на электроприводе. При этом использование подобных технологий ограничено типами и характеристиками используемых аккумуляторных батарей. Одним из перспективных вариантов решения данного ограничения является использование топливных элементов на водороде, что позволит перезаряжать батареи в режиме использования [2].

Для геопозиционирования высокоавтоматизированных транспортных средств на открытых пространствах используют глобальные навигационные спутниковые системы. Применение подобных систем позволяет с высокой точностью определить положение транспортного средства, но при этом данная технология ограничена использованием на открытых участках. Актуальным остается вопрос геопозиционирования транспортного средства в условиях отсутствия информации со спутников. Для принятия решения об управлении движением применяют внутреннюю одометрию, основанную на получении информации с видеокамер, лидаров и радаров. Внутренняя одометрия позволяет выявить препятствия на пути транспортного средства. Важным является решение вопроса синхронизации данных, полученных с разных источников: видеокамеры, лидара, радара, так как они работают на разных частотах.

Для принятия решения об изменении направления движения в случае выявления непредвиденных объектов на пути транспортного средства, требуется информация о типе препятствия: другое транспортное средство, стационарный объект, человек и т.д. Повышение точности классификации реализуется подбором архитектуры используемой нейронной сети, создания обучающих датасетов, нормализации исходных данных [3].

Высокоавтоматизированные транспортные средства работают на открытом пространстве, что приводит к загрязнению устройств контроля внешнего окружения. В свою очередь это может привести к недостоверным данным с этих устройств и в следствии этого к ошибочному принятию решения по управлению транспортным средством. Для недопущения подобных ситуаций требуется решить вопрос выявления загрязнений сенсоров и применения методов их очистки.

В зависимости от типа решаемой задачи высокоавтоматизированным транспортным средством, как правило, возникает несколько альтернативных маршрутов. В следствии чего возникает задача оптимизации маршрута движения. Не всегда эту задачу можно решить путем перебора, так как накладывается большое количество ограничений. Одним из вариантов решения подобной задачи является использование мультиагентных систем, позволяющих за меньшее число операций выбрать оптимальный маршрут [4].

Для поиска решений вопросов, рассмотренных в данной работе, в Набережночелнинском институте создана Передовая инженерная школа «КиберАвтоТех», одним из фронтиров которой является «Интеллектуальный автомобиль». Рассмотренные выше задачи решаются в рамках выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в рамках созданных лабораторий, таких как «Интеллектуальный автомобиль», «Лаборатория больших данных», «Лаборатория систем связи», «Лаборатория исследования топливных элементов»

1. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года / [Электронный ресурс] // URL: <http://static.government.ru/media/files/7enYF2uL5kFZIOOpQhLl0nUT91RjCbeR.pdf> (дата обращения: 14.06.2025).
2. Свидетельство о государственной регистрации программы на ЭВМ № 2024661264 Российская Федерация, Программа для расчета расхода топлива и окислителя для низкотемпературного топливного элемента / Д. Д. Фазуллин, Д. Н. Демьянов, С. В. Филимонов; заявл. 07.05.24, опубл. 16.05.24
3. **Iliukhin, A.N.** Improvement of 'winner takes all' neural network training for the purpose of diesel engine fault clustering/Iliukhin, A.N., Gibadullin, R.A.//2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016 - Proceedings 7911587
4. **В.В. Сазонов, П.О. Скобелев, А.Н. Лада, И.В. Майоров**, “Применение мультиагентных технологий в транспортной задаче с временными окнами и несколькими пунктами погрузки”, УБС, 64 (2016), 65–80.

АРХИТЕКТУРА БОРТОВОЙ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ СПЕЦИАЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

*АО «ФНПЦ «Титан-Баррикады»,
г. Волгоград, cdb@cdbtitan.ru*

Введение

Современный этап развития специальных транспортных комплексов и систем характеризуется фундаментальной трансформацией архитектуры управления, где бортовые информационно-управляющие системы (БИУС) переходят из разряда вспомогательных компонентов в категорию системообразующих элементов. Эта метаморфоза обусловлена совокупностью технологических и эксплуатационных факторов:

- значительным усложнением специальных транспортных платформ нового поколения;
- формированием принципиально новых требований к функциональной безопасности и адаптивности управления;
- качественным скачком в развитии вычислительных платформ реального времени, алгоритмов ситуационного анализа, систем искусственного интеллекта для транспортных применений

В настоящее время БИУС эволюционировали от простых систем диагностики до интеллектуальных киберфизических комплексов, способных не только оптимизировать текущие параметры движения, но и прогнозировать развитие транспортной ситуации, а также обеспечивать совместное согласованное функционирование специальных систем [1].

Основные задачи БИУС специальных транспортных комплексов

Задачи решаемые БИУС специальных транспортных комплексов могут быть разделены на следующие классы [1]:

1. Задачи управления и контроля состояния базовых элементов транспортных средств (обеспечение координации работы основных агрегатов и систем транспортного средства с реализацией алгоритмов адаптивного управления).

2. Задачи обеспечения безопасности (реализация превентивных и защитных механизмов, направленных на предотвращение аварийных ситуаций).

3. Задачи, связанные с диагностическим обеспечением, предупреждением и поиском причин неисправностей (комплексный мониторинг технического состояния с возможностью прогнозирования отказов и оптимизации обслуживания).

4. Специальные задачи (связанные с выполнением операций, необходимых для функционирования технологического оборудования, размещенного на транспортном средстве).

К специальным задачам могут быть отнесены:

- управление распределением нагрузки на колеса для выполнения технологических операций на слабонесущих грунтах;
- навигационно-топографическое сопровождение с интеграцией спутниковых систем позиционирования (ГЛОНАСС);
- обеспечение круглосуточного функционирования с применением пассивных и активных систем ночного видения;
- автоматизированный контроль опасных зон (включая системы защиты при приближении к линиям электропередач).

Архитектура БИУС специального транспортного комплекса

В состав БИУС перспективного специального транспортного комплекса (рис.1) входят:

1. Средства управления узлами и агрегатами транспортного средства, включающие:

- блок контроллера рабочего места (БКРМ);
- распределенные по осям блоки контроллеров осевых модулей (БКОМ).

2. Средства отображения и регистрации информации, включающие:

- систему управления, контроля и диагностики электронную (ЭСУКД), с функциями регистрации информации в долговременной памяти;

- компьютер центральный бортовой (ЦБК);
- мониторы многофункциональные (МФМ1, МФМ2).

3. Средства внешнего видеонаблюдения, включающие:

- блок обработки видеоизображений (БОВИ);
- обзорные камеры внешнего видеонаблюдения (ОК1 ... ОК4);

4. Средства определения положения корпуса в пространстве, включающие блок инерциальных и навигационных датчиков (БИНД).

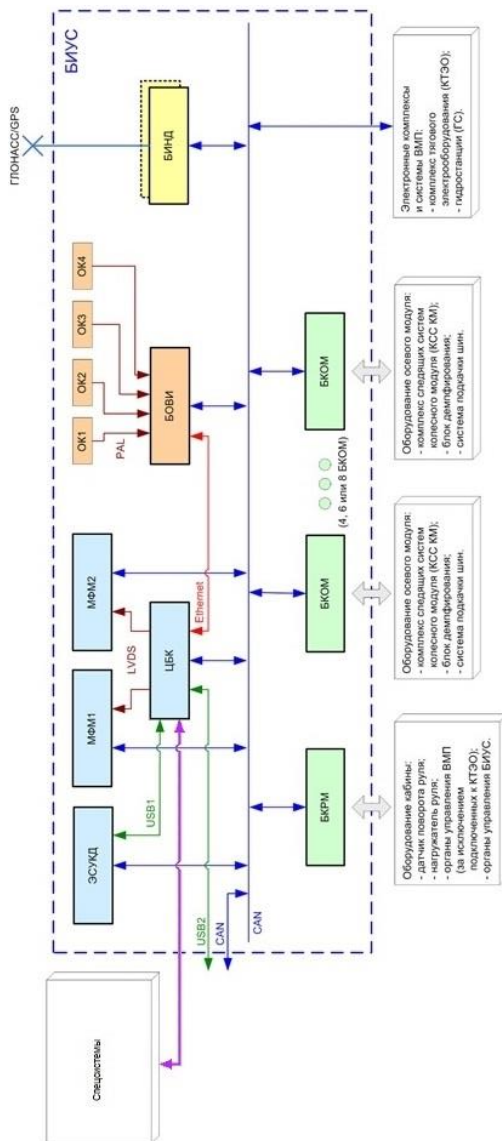


Рис. 1. Структурная схема БИУС перспективного ТК

Электронные блоки и системы объединяются в единую интегрированную БИУС (рис.2), с реализацией среды передачи данных для следующих цифровых интерфейсов:

– цифрового канала передачи информации CAN 2.0 (далее — шина CAN БИУС) для обеспечения информационно-логического взаимодействия СЧ БИУС между собой и с остальными электронными системами и комплексами;

– цифрового интерфейса Ethernet для обеспечения передачи видеoinформации от БОВИ в ЦБК, с целью последующего отображения на МФМ1, МФМ2;

– цифрового интерфейса USB 2.0 FullSpeed для передачи сохраняемой в долговременной памяти ЭСУКД информации с целью последующей обработки и анализа средствами ЦБК, либо средствами подключаемого к БИУС дополнительного внешнего оборудования.



Рис. 2. Структурная схема взаимных связей между БИУС и агрегатами (узлами шасси), специальными системами и комплексами

Заключение

Основные преимущества рассмотренной архитектуры:

- модульность и масштабируемость;
- разделение потоков данных по критичности;
- поддержка технологии "plug-and-play" для периферийных устройств

- обеспечение требуемой надежности при сохранении гибкости конфигурации под различные эксплуатационные сценарии;

Архитектура также обеспечивает создание на базе БИУС цифровых двойников для виртуальных испытаний, прогнозного технического обслуживания агрегатов специальных транспортных комплексов, а также может быть применена в мобильных робототехнических системах [2].

Реализация предложенных технических решений значительно расширяет перечень задач, решаемых БИУС, обеспечивая эффективную интеграцию БИУС в систему управления эксплуатацией на всех этапах жизненного цикла (проектирование, испытания, эксплуатация).

1. **Шурыгин В.А.** Современные направления развития автотранспортных платформ для перспективных подвижных грунтовых комплексов // Прогресс транспортных средств и систем – 2013: материалы международной научно-практической конференции, Волгоград, 2013. – С. 271-278.
2. **Серов В.А.** Бортовая система управления мобильных роботов специального назначения / В.А. Серов, С.А. Устинов, В.И. Максименко // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. - 2019. - Вып. 1. - С. 32-39.

Д.С. Сарбаев, Е.В. Балакина, И.К. Денисенко

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ БОКОВОЙ РЕАКЦИИ ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА УПРАВЛЯЕМОЕ КОЛЕСО ДЛЯ ЗАДАЧ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ ТРАЕКТОРИИ*

*ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический
университет», г. Волгоград, sards93@yandex.ru*

Постановка задачи

При проектировании транспортных средств (ТС) на деформируемых опорных колесах важно прогнозировать такие их свойства активной безопасности как устойчивость, управляемость и тормозная динамика. Поскольку все современные ТС оснащены автоматизированными системами стабилизации траектории (ABS, ESP и др.), то при моделировании их движения приходится учитывать функционирование системы управления по заданному алгоритму. Это не является проблемой при прямолинейном равномерном движении ТС. Однако потеря его устойчивости чаще всего возникает при действии внешней боковой силы при криволинейном движении. В ответ на эту силу создается боковая реакция в пятне

*«Исследование выполнено при финансовой поддержке ВолгГТУ (из средств программы развития «Приоритет 2030» по соглашению № 075-15-2025-063) в рамках научного проекта № 9/644-24»

контакта деформируемого колеса ТС с опорной поверхностью. Эта боковая реакция приводит к боковой деформации колеса, к явлению бокового увода и возмущающих моментов на управляемых колёсах, что вызывает отклонение ТС от заданной траектории движения до начала бокового скольжения. Величины возмущающих моментов связаны с величиной смещения боковой реакции относительно центра пятна контакта, а их направление связано с направлением смещения боковой реакции. Совпадение места приложения боковой реакции опорной поверхности с центром участка с трением покоя в пятне контакта указывает также на взаимосвязь со сцепными свойствами колеса, управляемыми автоматизированной системой.

Адекватная оценка положения боковой реакции опорной поверхности на управляемое колесо обеспечит корректное моделирование движения ТС на деформируемых опорных колесах.

Целью исследования является определение положения боковой реакции в пятне контакта деформируемого колеса с опорной поверхностью.

Методы и подходы

Положения реакций опорной поверхности на колесо связаны с напряжениями в пятне контакта [1-3]. При этом снос боковой реакции совпадает с координатой центра участка с трением покоя в контакте. Участок с трением покоя занимает ту часть площади пятна контакта, где нет относительного скольжения. Скольжение имеет место в тех зонах, где касательные напряжения превышают допустимые, зависящие от нормальных (вертикальных) напряжений. Условие появления скольжения в i -ой точке пятна контакта:

$$\tau_{xi} \geq [\tau_{xi}] = f_{st} \cdot \sigma_{zi},$$

где σ_{zi} – нормальные напряжения в i -ой точке пятна контакта; τ_{xi} – касательные напряжения в i -ой точке пятна контакта; f_{st} – коэффициент трения покоя между материалом колеса и опорной поверхностью.

Авторами разработаны математические модели для расчета нормальных и касательных напряжений в пятне контакта. Их программная реализация в среде Excel позволила определить координаты участка с трением покоя при разных относительных моментах на колесе в центральной плоскости вращения. Полученные пары точек аппроксимированы с использованием продукта CurveExpert выражением [4]:

$$u \approx 0,35 \cdot l_c \cdot \frac{M_b}{M_{b\max}},$$

где u – снос боковой реакции (совпадает с центром участка с трением покоя); l_c – длина пятна контакта; M_b – тормозной момент.

Для подтверждения полученной зависимости проведены экспериментальные исследования [5]. Они проводились в лаборатории ВолгГТУ на модели деформируемого колеса – шине 4.10/3.50-5 (для аэродромной тележки). Шина диагональная, производителя Omega (Тайвань) имеет нормативное давление – 2,5 атм; нагрузку – 1100 Н. Давление создавалось компрессором ДС 12V 300 psl, рассчитанным на максимальное давление до 3 атм, а контролировалось манометром типа МТИ ГОСТ 2405-63.

Обработка результатов эксперимента подтвердила результаты проведенных расчетов. Максимальное перемещение центра участка с трением покоя соответствует величине момента на колесе, допустимого по условиям начала скольжения, и составляет приблизительно 1/3 длины пятна контакта для всех видов и состояний твердой опорной поверхности. При достижении этого перемещения наступает полное скольжение в пятне контакта, когда участок трения скольжения занимает всю его площадь.

Заключение

Разработаны и реализованы теоретическая и экспериментальная методики определения положения боковой реакции опорной поверхности на управляемое колесо для задач моделирования систем стабилизации движения транспортного средства. Показано, что боковая реакция опорной поверхности на деформируемое колесо смещается в сторону действия момента относительно оси вращения колеса. В тормозном режиме колеса боковая реакция смещается в сторону задней части пятна контакта. Величина этого смещения пропорциональна тормозному моменту на колесе и не превышает примерно третью часть от длины пятна контакта. Направление продольного сноса боковой реакции опорной поверхности на колесо совпадает с направлением продольного сноса нормальной реакции, но может не совпадать по модулю.

Результаты исследования могут быть полезны при разработке алгоритмов изменения управляющих параметров системы стабилизации траектории движения транспортного средства на деформируемых опорных колесах.

1. **Davide Stocco, Francesco Biral and Enrico Bertolazzi.** A physical tire model for real-time simulations // *Mathematics and Computers in Simulation* (Netherlands). – 2024. – Vol. 223. – P. 654-676.
2. **Roveri N., Pepe G., Carcaterra A.** OPTYRE – A new technology for tire monitoring: Evidence of contact patch phenomena // *Mechanical Systems and Signal Processing* (USA). – 2016. – Vol. 66-67. – P. 793-910.
3. **Behzad Golanbari and Aref Mardani.** An analytical model for stress

estimation at the soil-tire interface using the dynamic contact length // Journal of Terramechanics (UK). – 2024. – Vol. 111. – P. 1-7.

4. **Балакина, Е.В.** Боковая реакция дороги на колесо АТС и место ее приложения в пятне контакта / Е.В. Балакина, Д.С. Сарбаев // Авто-мобильная промышленность. – 2024. – № 9. – С. 4-8
5. Determination of geometric characteristics of friction areas in contact of the chassis wheel with a solid support / E.V. Balakina, D.S. Sarbaev, I.V. Sergienko // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 1061 (2021): International Conference Aviation Engineering and Transportation (AviaEnT 2020) (Irkutsk, Russia, 21-26 September 2020): Proceedings / Irkutsk National Research Technical University. – [IOP Publishing], 2021. – 7 p. – doi: 10.1088/1757-899X/1061/1/012006.

О.К. Епифанов, Ю.В. Гречушкин

МЕТОД БЕЗДАТЧИКОВОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАЛИЧИЯ ИЛИ ОТСУТСТВИЯ ГРУЗА В КАНАЛЕ УПРАВЛЕНИЯ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГРУЗОЗАХВАТНОГО УСТРОЙСТВА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

*АО «Концерн «ЦНИИ «Электронприбор», г. Санкт-Петербург,
office@eprib.ru*

Транспортирование различных грузов автономными транспортными средствами (ТС) весьма эффективно с помощью управляемых магнитных грузозахватных устройств (ГЗУ) [1-4], осуществляющих захват, длительное удержание и отпускание ферромагнитного груза или груза с ферромагнитной пластиной (ФГ) по сигналу системы управления ТС при его доставке. Для таких ГЗУ с батарейным электропитанием созданы новые магнитные захваты магнитоэлектрического типа (МЗ) [5] с постоянными высококоэрцитивными магнитами (ВПМ) и минимальным энергопотреблением в процессе выполнения своих функций с высокой надежностью работы. Захват груза и его транспортирование МЗ осуществляются без электропитания, а отпускание (сброс) груза выполняется благодаря подаче по сигналу управления ТС маломощного короткого импульса электрического напряжения в обмотку управления (ОУ) МЗ от емкостного накопителя энергии ГЗУ, заряжаемого от батарейного питания ТС. Принципиальное решение таких МЗ [5] проиллюстрировано на рисунке 1.

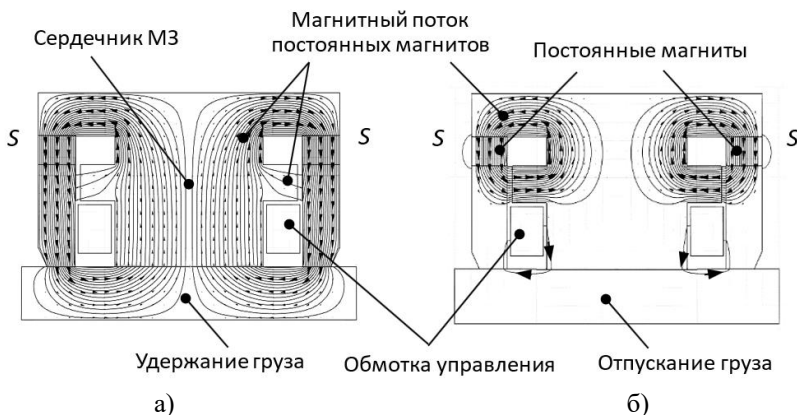


Рис. 1. Картина распределения магнитного поля в конструкции МЗ при а) удержании (наличии) груза – притягивающая сила максимальна и при б) отпуске (сбросе) груза – притягивающая сила близка к нулевому значению

Актуальным при работе ГЗУ в таких ТС является наличие в его канале управления информации о наличии (захвате) или отсутствии (сбросе) груза, что в настоящее время обеспечивается преимущественно тактильными, бесконтактными локационными или визуальными (техническое зрение) методами с помощью широкого набора различных отдельных самостоительных устройств и датчиков [6,7].

В докладе приводится описание нового метода бездатчикового определения (средствами самого МЗ) наличия или отсутствия ФГ в МЗ ГЗУ [8], который основан на явлении самоиндукции (Дж.Генри), возникающим при приложении электрического напряжения U от источника питания постоянного тока к электрической цепи катушки ОУ с сопротивлением R . Под действием этого электрического напряжения в катушке ОУ МЗ, которая охватывает его магнитопровод, возникающий электрический ток образует магнитный поток (МП) самоиндукции, под действием которого в ней же наводится электродвижущая сила, ограничивающая по времени нарастание электрического тока в катушке ОУ МЗ от приложенного электрического напряжения U . Степень этого ограничения нарастания определяется коэффициентом самоиндукции. Сам МП самоиндукции зависит от магнитного сопротивления (МС) магнитной цепи МЗ, в которой он замыкается. Магнитная цепь МЗ ГЗУ будет иметь минимальное МС для рабочего МП от ВПМ при наличии (захвате) груза в МЗ, т.е. магнитная цепь МЗ замкнута через ФГ. Тогда катушка ОУ в МЗ будет иметь максимальную индуктивность и постоянную времени τ_n .

МС магнитной цепи МЗ будет максимальным при отсутствии (сбросе) груза, т.е. магнитная цепь МЗ ГЗУ для рабочего МП разомкнута и

соответственно катушка ОУ МЗ будет иметь минимальную индуктивность и постоянную времени τ_o . При этом τ_n больше τ_o .

Поскольку процессы нарастания электрического тока I_{oi} и I_{ni} в катушке ОУ МЗ в функции времени T (T_{Ui} в i -ые моменты времени) от момента приложения к ней напряжения U будут отличаться соответственно при максимальном и минимальном МС магнитной цепи МЗ, то по величине максимальной разности мгновенных значений I_{oim} и I_{nim} в определенный i -ый момент времени T_{Um} в обмотке-катушке управления МЗ ($I_{oim} > I_{nim}$) возможно однозначно идентифицировать отсутствие (сброс) или наличие (захват, удержание) груза в МЗ ГЗУ, а именно:

$$I_{oim} = \frac{U}{R} \left(1 - e^{-\frac{T_{Um}}{\tau_o}} \right) \text{ и } I_{nim} = \frac{U}{R} \left(1 - e^{-\frac{T_{Um}}{\tau_n}} \right), \quad (1)$$

$$f[I_{oi} - I_{ni}](T) = I_{oi}(T) - I_{ni}(T) = \frac{U}{R} \left(e^{\frac{-T_{Ui}}{\tau_n}} - e^{\frac{-T_{Ui}}{\tau_o}} \right). \quad (2)$$

Производная функции по выражению (2) имеет следующее решение:

$$f'[I_{oi} - I_{ni}](T) = \frac{U}{R} \left(\frac{e^{\frac{-T_{Ui}}{\tau_o}}}{\tau_o} - \frac{e^{\frac{-T_{Ui}}{\tau_n}}}{\tau_n} \right). \quad (3)$$

Приравнявая выражение (3) к нулю и решая его относительно T_{Ui} , получим следующее выражение для T_{Um} , которое является корнем выражения (3) и соответственно экстремумом разностной функции (2):

$$T_{Um} = \frac{\tau_o \cdot \tau_n}{\tau_o - \tau_n} \ln \left(\frac{\tau_o}{\tau_n} \right). \quad (4)$$

Таким образом, разность мгновенных значений сил тока I_{oim} и I_{nim} в i -ый момент времени T_{Um} будет максимальной согласно выражений (1), что проиллюстрировано штриховыми линиями для расчетных значений I_{oim} и I_{nim} в момент времени T_{Um} на рисунке 2 а). На рисунке 2 б) приведены экспериментальные осциллограммы тех же переходных процессов, что и на рисунке 2 а), полученные на производственном образце ГЗУ. Значение I_n на рисунке 2 а) и б) является полусуммой I_{oim} и I_{nim} , а расчетное значение T_{Um} , находится в пределах значения τ_n .

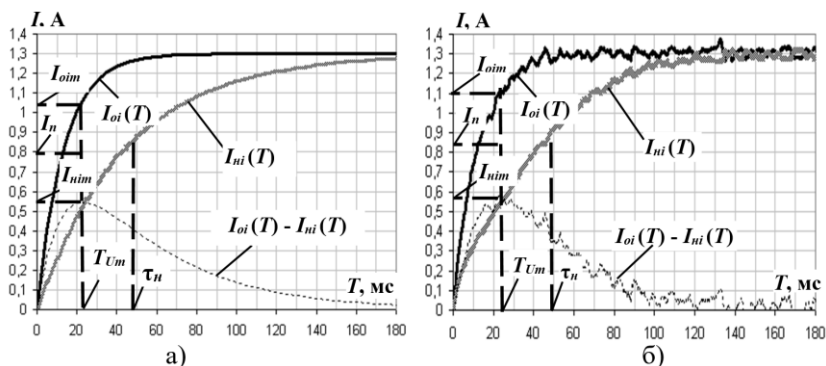


Рис. 2. Переходные процессы по времени T силы тока $I_{oi}(T)$ и силы тока $I_{ni}(T)$ в обмотке-катушке управления МЗ, разностной функции $I_{oi}(T) - I_{ni}(T)$ в i -ые моменты времени T_{ui} на интервале времени T : а) расчетные; б) экспериментальные осциллограммы

В процессе работы, как при захвате и удержании МЗ груза, так и при и после его отпуска, периодически прикладывают к катушке ОУ МЗ от источника питания постоянного тока блока управления ГЗУ короткий, длительностью в пределах τ_n , маломощный импульс напряжения U с полярностью, обеспечивающей согласное направление образуемого катушкой ОУ МП с направлением рабочего МП в магнитной цепи МЗ при захвате им ФГ, определяют с помощью датчика тока в канале управления ГЗУ в момент времени T_{um} значение силы тока I_u , протекающего в электрической цепи катушки ОУ, сравнивают полученное значение I_u со значением I_n и судят о наличии ФГ в МЗ, если полученное значение I_u меньше I_n , или о его отсутствии, если полученное значение I_u больше I_n .

Таким образом, рассмотренный метод обеспечивает бездатчиковое определение наличия или отсутствия ФГ в МЗ средствами канала управления ГЗУ ТС без каких-либо отдельных самостоятельных датчиков.

1. **Лукинов А.П.** Проектирование мехатронных и робототехнических устройств. СПб.: Издательство «Лань», 2012. – 608 с.
2. **Козырев Ю.Г.** Захватные устройства и инструменты промышленных роботов. М.: КНОРУС, 2010. – 312 с.
3. **Константинов О.Я.** Магнитная технологическая оснастка. Л.: Машиностроение, 1974. – 383 с.
4. **Деревенко К.А.** Грузозахватные постоянные магниты с электроимпульсным управлением. М.: Информэлектро, 1983. – 60 с.
5. Патент 2797934 РФ. Магнитоэлектрический захват груза / О.К. Елифанов, Ю.В. Гречушкин. Опубл. 13.06.2023 г. Бюл. № 17.

6. **Воротников С.А.** Информационные устройства робототехнических систем: учебное пособие для вузов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 384 с.
7. Системы очувствления и адаптивные промышленные роботы / В.Б. Брагин, Ю.Г. Войлов, Ю.Д. Жаботинский и др.; Под общ. ред. Е.П. Попова, В.В. Кисилева. М.: Машиностроение, 1985. – 256 с.
8. Патент 2834851РФ. Способ бездатчикового определения наличия/ отсутствия груза в магнитном захвате грузозахватного устройства / О.К. Епифанов, Ю.В. Гречушкин. Оpubл. 14.02.2025 г. Бюл. № 5.

В.А. Горелов, Г.О. Котиев, Е.С. Шкарупелов

ЗАКОН ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ

*Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана, г. Москва, shkarupelov@bmstu.ru*

Введение

Переключение передач в многоступенчатых электромеханических трансмиссиях современных грузовых электромобилей, как правило, происходит по усмотрению водителя транспортного средства или с помощью автоматических систем управления, работающих согласно статическим картам переключения. Применение карт переключения не позволяет обеспечить оптимальную работу тягового электродвигателя в зоне наибольшего КПД на всем пути движения при выполнении транспортной задачи, что приводит к снижению эффективности работы транспортного средства. Данная проблема является актуальной на текущем этапе развития грузового электротранспорта.

Основная часть

При выполнении грузоперевозок, благодаря существующим системам навигации типа ГЛОНАСС, заранее полностью известны параметры маршрута, что позволяет определить оптимальную стратегию управления коробкой передач и электродвигателем на всем протяжении маршрута с помощью метода динамического программирования Беллмана.

Задача энергоэффективного управления многоступенчатой электромеханической трансмиссией сводится к задаче оптимизации и непосредственному определению закона переключения передач от пройденного

пути. Целевой функцией оптимизации выступает потребляемая энергия на движение и определяется согласно следующей зависимости:

$$J = E_{shift} + \int_{t_2}^{t_1} (N_p - N_T + N_{MT}) dt \quad (1)$$

В качестве объекта исследования в данной работе выступает грузовой магистральный автопоезд полной массой 40 тонн с колесной формулой 8x4 и двумя ведущими трехступенчатыми электромеханическими мостами в качестве ведущих осей.

Для возможности применения метода динамического программирования Беллмана необходимо построить фазовое пространство – пространство возможных состояний грузового автомобиля, с последующей его дискретизацией на сетку рассматриваемых состояний (рис.1).



Рис. 1. Фазовое пространство

Значение функции Беллмана в каждом состоянии фазового пространства есть минимальное значение энергии, затраченной на его достижение. При этом, рассчитывая минимальную затрачиваемую энергию, учитываются потери энергии E_{shift} на переключение передач. Подробно механизм работы метода динамического программирования Беллмана описан в работах [1, 2, 3].

Последовательность вычислений функций Беллмана в каждом состоянии фазового пространства позволяет получить матрицу минимальных значений энергии, которые необходимо затратить при перемещении объекта исследования из начальной точки маршрута в конечную. Далее, двигаясь от начального состояния в конечное и определяя точки фазового пространства с передаточным числом, обеспечивающим минимальную энергию, затрачиваемую на преодоление участка маршрута, получаем оптимальную фазовую траекторию, определяющую закон переключения передач на маршруте.

Результаты моделирования движения объекта исследования по ездовому циклу WLTP с использованием разработанного закона энергоэффективного управления при значении $E_{shift} = 500 \text{ Дж} = const$ представлен на рис. 2.

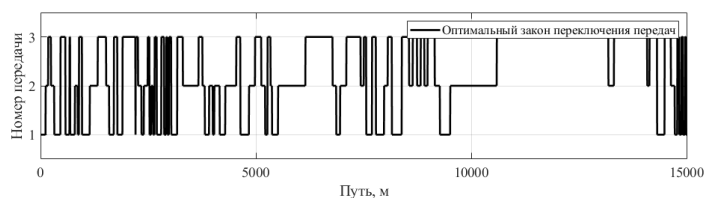


Рис. 2. Результаты моделирования движения по циклу WLTP

Результаты моделирования движения объекта исследования на каждой передаче и с использованием закона энергоэффективного управления многоступенчатой электромеханической трансмиссией представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты моделирования

Режим движения	Затраченная энергия на преодоление маршрута WLTP / HWFET, кДж	Количество переключений передач WLTP / HWFET
На первой передаче	186355,8 / 336562,8	-
На второй передаче	185124,1 / 334197,1	-
На третьей передаче	178082,4 / 333961	-
С использованием закона энергоэффективного управления, $E_{shift} = 500$ Дж	154034,2 / 330498,5	101 / 32
С использованием закона энергоэффективного управления, $E_{shift} = 1500$ Дж	154067,3 / 330509,4	57 / 21
С использованием закона энергоэффективного управления, $E_{shift} = 2500$ Дж	154109,3 / 330525,6	35 / 13

Заключение

1. Использование предлагаемого закона энергоэффективного управления позволяет значительно повысить энергоэффективность движения грузового автомобиля с многоступенчатой электромеханической трансмиссией на маршрутах с интенсивно меняющимся скоростным режимом (до 15%) и незначительно (до 3%) на маршрутах с преобладающим равномерным движением на определенных скоростях.

2. При повышении потерь энергии на переключение передач закономерно снижается количество переключений передач, при этом общие затраты энергии на преодоление маршрута увеличиваются.

3. Применение многоступенчатых электромеханических трансмиссий способствует повышению энергоэффективности движения грузового автомобиля в сравнении с электромеханической трансмиссией с одной передачей.

1. **Косицын Б.Б.** Метод определения энергоэффективного закона движения электробуса по городскому маршруту, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Диссертация кандидата технических наук : 05.05.03. 2018. 166 с.
2. **Hong Tu Luu**, Dynamic Programming for fuel consumption optimization on light vehicle/ Lydie Nouvelière, Said Mammar// IFAC Proceedings Volumes, Volume 43, Issue 7, 2010, Pages 372-377.
3. **Xueqin Lü**, Overview of improved dynamic programming algorithm for optimizing energy distribution of hybrid electric vehicles/ Songjie He, Yuzhe Xu// Electric Power Systems Research, Volume 232, 2024.

П.В. Зыбин, Б.Б. Косицын

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ЗАКОНА УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ГУСЕНИЧНОЙ МАШИНЫ С ТРЕХПОТОЧНОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ

*Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана, г. Москва,
zybin@bmstu.ru*

Введение

Одним из способов повышения подвижности гусеничных машин (ГМ) является применение электромеханических трансмиссий, позволяющих обеспечить бесступенчатый разгон и поворот транспортного средства. При этом перспективным направлением обеспечения максимальной эффективности использования установленных на борту гусеничной машины тяговых электродвигателей (ТЭД), является использование трехпоточного механизма передачи и поворота (МПП) [1, 2].

В связи с тем, что при движении водитель управляет двумя параметрами – скоростью и направлением движения ГМ, а МПП имеет 3 электродвигателя (характеризующихся суммарно тремя параметрами управления), то однозначная связь между моментами, частотами вращения и мощностями на ведущих колесах и реализуемых электромашинами отсутствует. Таким образом, обеспечение заданной скорости и направления движения машины можно обеспечить различной совокупностью режимов работы электродвигателей, что позволяет сформулировать задачу оптимизации при формировании закона управления движением: определить такие параметры управления для каждого электродвигателя, которые обеспечат заданный водителем режим движения гусеничной машины при минимизации мощности потерь в трансмиссии.

Метод формирования закона управления движением гусеничной машины с трехпоточной электромеханической трансмиссией

В качестве объекта исследования используется трехпоточный механизм передачи и поворота ГМ, кинематическая схема которого представлена на рисунке 1. Система уравнений силовых и кинематических связей для указанного варианта трансмиссии представлена далее (1). В связи с тем, что КПД зубчатого зацепления не значительно изменяется от протекающей через него мощности, а также существенно выше, чем у тяговых электродвигателей, в данном случае для упрощения аналитических зависимостей принято допущение об отсутствии потерь в механической части трансмиссии (КПД механической части трансмиссии равен 1).

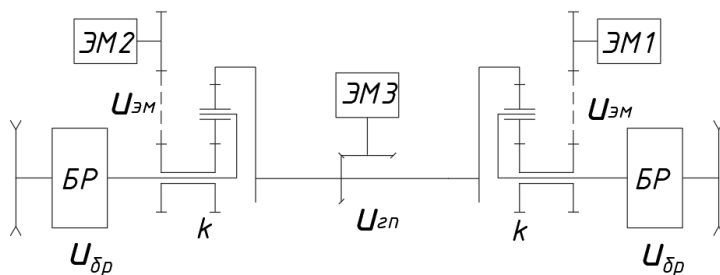


Рис. 1. Кинематическая схема исследуемого трехпоточного механизма передачи и поворота ГМ

$$\left\{ \begin{array}{l} (k+1)\omega_{\text{BK1}}u_{\text{бp}} = \frac{\omega_{\text{e1}}}{u_{\text{эм}}} + \frac{\omega_{\text{e3}}k}{u_{\text{гп}}} \\ (k+1)\omega_{\text{BK2}}u_{\text{бp}} = \frac{\omega_{\text{e2}}}{u_{\text{эм}}} + \frac{\omega_{\text{e3}}k}{u_{\text{гп}}} \\ \frac{M_{\text{BK1}}}{u_{\text{бp}}} = (k+1)M_{\text{e1}}u_{\text{эм}} \\ \frac{M_{\text{BK2}}}{u_{\text{бp}}} = (k+1)M_{\text{e2}}u_{\text{эм}} \\ M_{\text{e3}}u_{\text{гп}} = M_{\text{e1}}ku_{\text{эм}} + M_{\text{e2}}ku_{\text{эм}} \\ N_{\text{пот}}^{\Sigma} = N_{\text{пот}}^{\text{эм1}} + N_{\text{пот}}^{\text{эм2}} + N_{\text{пот}}^{\text{эм3}} \rightarrow \min \end{array} \right. , \quad (1)$$

где k – конструктивный параметр механизма (суммирующего планетарного ряда); $\omega_{\text{BK1}}, \omega_{\text{BK2}}$ – угловые скорости ведущих колес отстающего и забегающего бортов; $\omega_{\text{e1}}, \omega_{\text{e2}}, \omega_{\text{e3}}$ – угловые скорости роторов электромашин ЭМ1, ЭМ2 и ЭМ3; $M_{\text{BK1}}, M_{\text{BK2}}$ – вращающие моменты на ведущих колесах отстающего и забегающего бортов; $M_{\text{e1}}, M_{\text{e2}}, M_{\text{e3}}$ – вращающие моменты электромашин ЭМ1, ЭМ2 и ЭМ3; $u_{\text{бp}}$ – передаточное отношение бортового редуктора; $u_{\text{гп}}$ – передаточное отношение главной передачи; $u_{\text{эм}}$ – передаточное отношение редукторной части электромашин; $N_{\text{пот}}^{\Sigma}$ – суммарная мощность потерь в трансмиссии; $N_{\text{пот}}^{\text{эм1}}, N_{\text{пот}}^{\text{эм2}}, N_{\text{пот}}^{\text{эм3}}$ – мощности потерь в электромашинах ЭМ1, ЭМ2 и ЭМ3.

При управлении ГМ водитель, воздействуя на органы управления, задает желаемую тягу и радиус поворота машины, возможность выполнения которых ограничивается в том числе внешней скоростями характеристикой силовой установки. Таким образом, при формировании закона управления движением на первом этапе рационально определить две условные внешние скоростные характеристики, ограничивающие максимальный суммарный момент на ведущих колесах ГМ (обеспечивающий задаваемую тягу) и максимальную разницу между крутящими моментами ведущих колес (обеспечивающую желаемый радиус поворота), в рамках которых будет осуществляться управление водителем [3]. Такой подход позволяет провести оптимизацию и построить поверхности управления каждым из электродвигателей МПП без привязки к параметрам опорной поверхности. В качестве обратной связи в системе управления выступают оценка фактического радиуса поворота ГМ R_f и теоретическая скорость центра масс $V_{\text{цм}}$ (рисунок 2).

Боковые электромашин (ЭМ1 и ЭМ2) участвуют как в формировании максимальной скорости, так и в обеспечении желаемого радиуса по-

ворота ГМ. В связи с этим для формирования указанных ограничивающих характеристик, варьируя среднюю частоту вращения боковых электромашин, можно сформировать набор максимальных разниц крутящих моментов на ВК $\Delta M_{\text{БК}}^{\text{max}}$, которые могут обеспечить применяемые ТЭД, в зависимости от требуемой скорости движения и радиуса поворота ГМ (см. рисунок 2 слева).

Очевидно, что при движении ГМ в условиях недостатка мощности в первую очередь должна быть реализована необходимая разница между крутящими моментами на ведущих колесах машины $\Delta M_{\text{БК}}$, обеспечивающая поворот транспортного средства. Таким образом, возможности привода по обеспечению суммарного момента на ведущих колесах $M_{\Sigma\text{БК}}$ (как в тяговом, так и тормозном режимах) должны быть рассчитаны не только для каждой совокупности оценочных значений R_f , и $V_{\text{цм}}$, но и с учетом задаваемого водителем $\Delta M_{\text{БК}}$ (см. рисунок 2 справа)

На следующем этапе на основании заданных $\Delta M_{\text{БК}}$ и $M_{\Sigma\text{БК}}$, ограниченных внешними скоростными характеристиками электромашин, необходимо определить такие параметры управления каждым ТЭД, которые обеспечат минимизацию мощности потерь в трансмиссии при реализации текущего режима движения. Для этого используется поверхность управления, полученная в результате решения указанной задачи оптимизации для всего возможного спектра режимов движения ГМ, определяемых скоростью и радиусом поворота машины, а также задаваемыми водителем $\Delta M_{\text{БК}}$ и $M_{\Sigma\text{БК}}$. Выходными параметрами указанной поверхности управления (результат решения задачи оптимизации) являются параметры управления каждым ТЭД. В связи с отсутствием однозначной связи крутящих моментов и частот вращения ведущих колес и роторов электромашин при решении задачи оптимизации должен быть выбран варьируемый параметр, относительно которого проводится решения. В данном случае в качестве указанного варьируемого параметра выбрана частота вращения ЭМЗ $\omega_{\text{ез}}$ (см. рисунок 3).

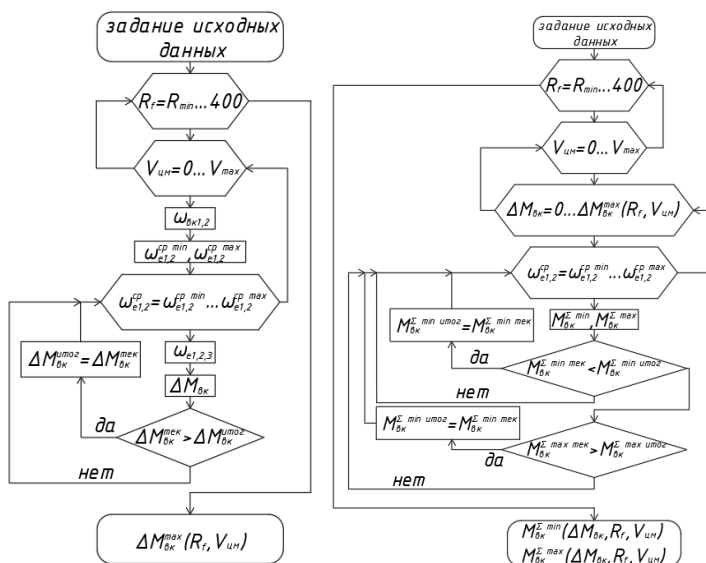


Рис. 2. Блок-схемы алгоритмов формирования поверхностей, ограничивающих $\Delta M_{\text{вк}}$ и $M_{\Sigma \text{вк}}$ в зависимости от режима движения ГМ

При формировании поверхности управления движением ГМ задаваемые массивы радиусов и скоростей движения являются дискретными, таким образом получаемые параметры управления электромашинными также являются дискретными величинами с различными пределами варьирования. В связи с этим для аппроксимации получаемых ограничивающих поверхностей и поверхности управления ($\Delta M_{\text{вк}}(R_f, V_{\text{цм}})$, $M_{\Sigma \text{вк}}(R_f, V_{\text{цм}}, \Delta M_{\text{вк}})$, $h_{1,2,3}(R_f, V_{\text{цм}}, \Delta M_{\text{вк}}, M_{\Sigma \text{вк}})$) использовались нейронные сети.

На рисунке 4 показана блок-схема, формирующая полученный закон управления движением ГМ с трехпоточным МПП. Входными параметрами закона управления являются степень нажатия водителем на педаль газа и поворот штурвала (задаваемый радиус поворота). В качестве обратной связи в системе управления, как был отмечено выше, выступают оценка фактического радиуса поворота ГМ и теоретическая скорость центра масс.

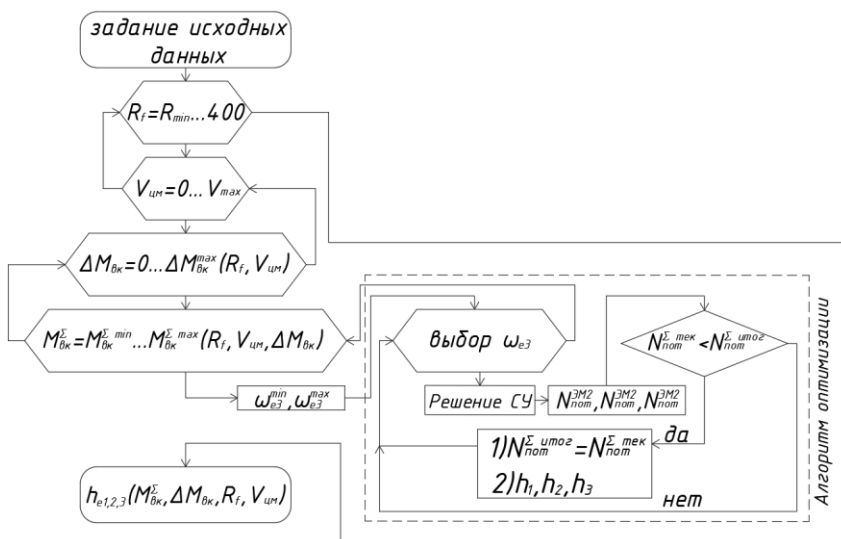


Рис. 3. Блок-схема алгоритма формирования поверхности управления, обеспечивающей реализацию задаваемого водителем режима движения при минимизации мощности потерь в трансмиссии

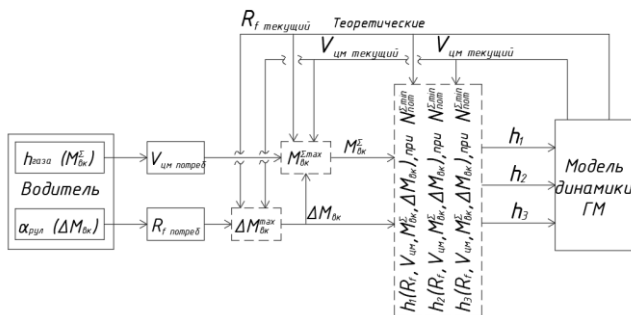


Рис. 4. Блок-схема закона управления движением ГМ с трехпоточной трансмиссией

Для апробации разработанного закона управления, по известным статистическим данным была сформирована трасса, характерная для движения ГМ. Формирование трассы (см. рисунок 5) для ГМ по известным статистическим характеристикам проводилось путем «разыгрывания»

протяженных реализаций случайных функций, описывающих взаимодействие машины с внешней средой (коэффициенты сопротивления движению и сцепления, дорожная кривизна и др.) [4]. При этом скоростной режим движения ГМ был сформирован исходя из ограничений по устойчивости машины при выполнении маневров поворота, а также ограничений на продольные и поперечные ускорения [5, 6]. При апробации полученного закона управления движениям использовалась математическая модель динамики [5], а также ГМ со следующими характеристиками: полная масса - 15500 кг; база - 4,445 м; колея - 2,5 м.

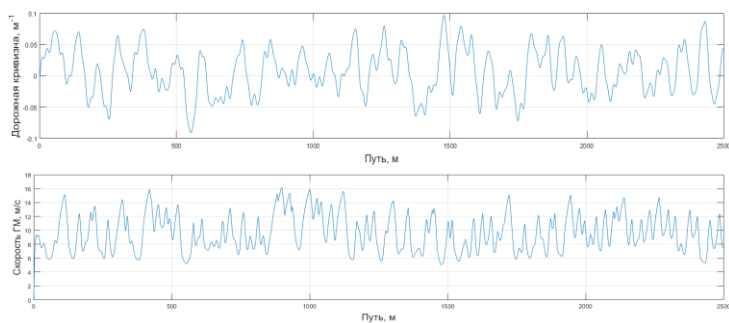


Рис. 5. Полученная протяженная реализация дорожной кривизны, а также скоростной режим движения ГМ

По результатам виртуального заезда получены статистические данные о режимах работы электромашины, реализуемых при движении ГМ, которые нанесены в внешнюю скоростную характеристику каждой ЭМ и ее карту КПД. По полученным данным видно (см. рисунок 6), что при движении ГМ по статистически заданной трассе (с учетом заданного скоростного режима) система управления стремится обеспечить работу электромашин в зонах высокого КПД (при минимальных суммарных потерях, $N_{\text{пот}}^{\Sigma \min}$), что подтверждает работоспособность и эффективность разработанного метода форматирования закона управления движением ГМ с трехпоточной электромеханической трансмиссией.

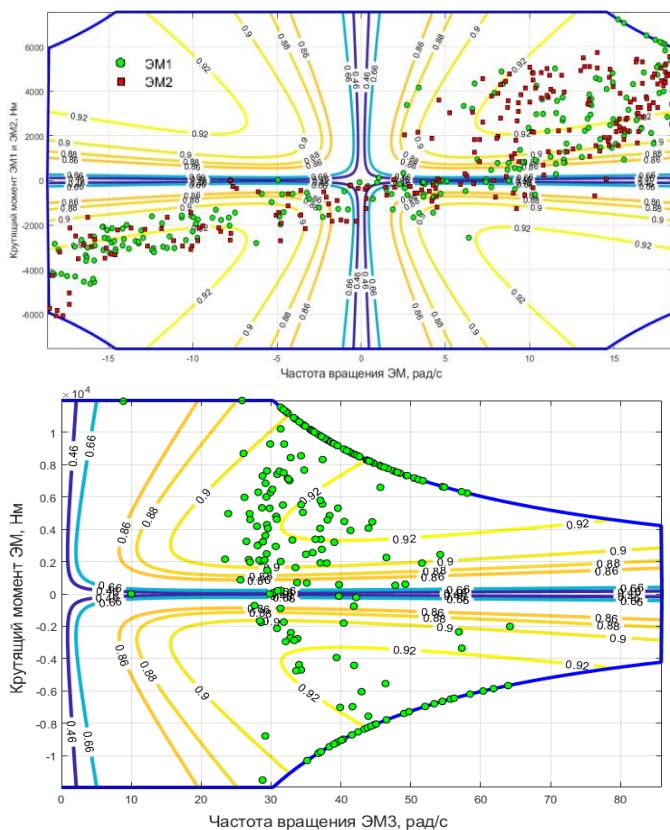


Рис. 6. Статистические данные о режимах работы электромашин при имитации движения ГМ по статистически заданной трассе

Закключение

Перспективным направлением обеспечения максимальной эффективности использования установленных на борту гусеничной машины тяговых электродвигателей (ТЭД), является использование трехпоточного механизма передачи и поворота (МПП). В данной работе предложен метод формирования закона управления движением гусеничной машины с трехпоточной электромеханической трансмиссией. Поскольку, заданную скорость и направление движения машины можно обеспечить различной совокупностью режимов работы электродвигателей, была сформулирована задача оптимизации при формировании закона управления движением, определяющая такие параметры управления для каждого

электродвигателя, которые обеспечат заданный водителем режим движения гусеничной машины при минимизации мощности потерь в трансмиссии. При апробации закона управления в результате виртуального заезда получены статистические данные о режимах работы электромашин, реализуемых при движении ГМ, которые были нанесены на внешнюю скоростную характеристику каждой ЭМ и ее карту КПД. По полученным данным видно, что при движении ГМ по статистически заданной трассе (с учетом заданного скоростного режима) система управления стремится обеспечить работу электромашин в зонах высокого КПД (при минимальных суммарных потерях), что подтверждает работоспособность и эффективность разработанного метода форматирования закона управления движением ГМ с трехпоточной электромеханической трансмиссией.

1. **Ming-Fei Gao, Ji-Bin Hu, Zeng-Xiong Peng.** Study on optimization for transmission system of electric drive tracked vehicles // The 8th International Conference on Applied Energy – ICAE2016, Energy Procedia. 2017. №105. P.2971 – 2976.
2. **Ming-Fei Gao, Ji-Bin Hu, Zeng-Xiong Peng** Configuration synthesis of electric drive transmissions for tracked vehicles // Advances in Mechanical Engineering. - 23 November 2017. - № Vol. 10(1) 1–10. DOI: 10.1177/1687814017749665C
3. **Забавников Н.А.** Основы теории транспортных гусеничных машин. М.: Машиностроение. 1967. 356 с.
4. **Косицын Б.Б., Стадухин А.А., Мирошнинченко А.В.,** Моделирование реализаций случайных функций характеристик дорожно-грунтовых условий при исследовании динамики колесных и гусеничных машин на этапе проектирования. Известия МГТУ “МАМИ”, 2019-11 с.
5. **Стадухин А.А.** Научные методы определения рациональных параметров электромеханических трансмиссий высокоподвижных гусеничных машин: дис. д-р. техн. наук: 05.05.03. - М., 2021. - 317 с.
6. **Косицын Б.Б.** Научные методы повышения подвижности боевых колесных машин путем совершенствования тормозных свойств: дис. д-р. техн. наук: 05.05.03. - Москва, 2021. - 280 с.

РАЗДЕЛ 3

**МОДЕЛИРОВАНИЕ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
И МОНИТОРИНГА
ЦИФРОВОЙ
ИНФРАСТРУКТУРЫ
В СИСТЕМАХ
УПРАВЛЕНИЯ
НАЗЕМНЫМ
ТРАНСПОРТОМ**

ВНЕДРЕНИЕ КРИПТОВАЛЮТЫ КАК СПОСОБА ОПЛАТЫ ПРОЕЗДА НА НАЗЕМНОМ ТРАНСПОРТЕ: ПЕРСПЕКТИВЫ И ВЫЗОВЫ

*¹Российский университет транспорта РТУ (МИИТ),
bokovnyadaniil@gmail.com*

Введение

В эпоху стремительной цифровизации и поиска инновационных решений в сфере городской инфраструктуры, общественный транспорт остаётся одной из ключевых опор для полноценного функционирования мегаполиса. С каждым годом возрастает потребность в более быстрых, удобных и безопасных способах оплаты проезда, которые могли бы удовлетворить потребности современного пассажира. Поэтому всё чаще обсуждается потенциал криптовалют – как следующего этапа эволюции платёжных систем [1,2].

Перспективы

Внедрение криптовалюты в систему оплаты проезда может внести вклад в развитие городского транспорта. Стоит рассмотреть основные преимущества использования данной системы.

Традиционные банковские транзакции часто сопряжены с комиссиями и задержками. Криптовалютные платежи могут предложить мгновенные и более дешёвые транзакции. Это позволит сократить операционные расходы транспортных компаний, связанные с инкассацией наличных, обработкой карт и банковскими комиссиями.

Немаловажным аспектом является безопасность. Технология блокчейн обеспечивает беспрецедентный уровень прозрачности и неизменности записей. Каждая транзакция фиксируется в распределительном реестре, что делает её отслеживаемой и защищённой от подделки [3]. Это может упростить аудит, снизить уровень мошенничества и повысить доверие к платёжной системе.

Для формирования положительного опыта использования среди пассажиров необходимо использование системы Smart Contracts. Смарт-контракты на блокчейне открывают возможности для создания систем лояльности, динамического ценообразования или автоматического применения скидок в зависимости от маршрута, времени суток или частоты

поездов. Это может значительно расширить функциональность билетных систем.

Также необходимо учитывать интересы международных пассажиров. Для туристов оплата проезда местной валютой может быть неудобным способом совершения транзакции из-за оплаты комиссии на конвертацию денег. Криптовалюты, будучи глобальными по своей природе, могут упростить этот процесс, позволяя использовать единый платёжный инструмент по всему миру.

Вызовы

Главным барьером при внедрении криптовалют является волатильность. Курс большинства криптовалют крайне нестабилен и может значительно меняться на коротком отрезке времени. Транспортным компаниям необходима предсказуемость доходов, а пассажирам – стабильная стоимость проезда. Решением данной проблемы может стать использование стейблкоинов или мгновенная конвертация криптовалюты в фиат при выполнении транзакции, что несёт за собой дополнительные издержки и сложности.

Вторым серьёзным вызовом для внедрения криптовалютных платежей является отсутствие необходимой инфраструктуры. При интеграции потребуются установка нового оборудования (POS-терминалов), обновление программного обеспечения и т.д. Это влечёт за собой капитальные затраты и технические сложности.

Помимо этого, необходимо развить культуру пользования криптовалютой среди населения, иначе затраченные ресурсы на интеграцию этого способа оплаты не принесут прибыли транспортным операторам.

Также стоит отметить, что правовой статус криптовалют сильно различается от страны к стране. Отсутствие чётких законов создает риски для операторов и требует тщательной проработки со стороны государственных органов.

Примеры внедрения

На сегодняшний день широкомасштабные примеры внедрения криптовалюты как основного или дополнительного способа оплаты проезда на общественном транспорте отсутствуют. Пока что всё ограничивается концептами или тестовыми запусками проектов [4].

Самым вероятным способом внедрения является интеграция сторонними сервисами. Например, криптовалюта используется для пополнения баланса в приложении-агрегаторе, которое в свою очередь уже позволяет оплатить проезд. Например, в некоторых странах агрегаторы

такси или каршеринговые сервисы принимают криптовалюту через сторонние платёжные шлюзы, которые мгновенно конвертируют её в фиатную валюту для поставщика услуг [5].

Заключение

Несмотря на весомые преимущества для всех сторон от использования криптовалюты, как способа оплаты проезда на общественном транспорте [6], это направление остаётся слабо развитым из-за серьёзных технических и бюрократических барьеров.

Вероятно, что внедрение будет происходить поэтапно: сначала через гибридные системы, а в случае успеха этой системы, через более глубокую интеграцию. В конечном итоге, успех будет зависеть от совместных усилий технологических компаний, транспортных операторов и государственных органов, направленных на создание удобной, безопасной и стабильной системы.

1. **Генкин А. С.** Криптотехнологии и криминальные риски: есть ли повод для тревоги? // Страховое дело.- 2017.- №5.- С.47-55.
2. **Агеев А. И.** Криптовалюты, рынки и институты / А. И. Агеев, Е. Л. Логинов // Экономические стратегии. – 2018. – № 1. – С. 94–107.
3. **Iovleva, E.** Ensuring Security of Public Transportation Control Systems / E. Iovleva, N. Filippova, A. Sidorov // Advances in Automation V : Proceedings of the International Russian Automation Conference, Sochi, 10–16 сентября 2023 года. Vol. 1130. – Sochi: Springer Nature Switzerland AG, 2024. – P. 479-489. – EDN TXHXEK.
4. **Вержбицкий А.** Криптовалютная вольница // Форбс / Forbes.- 2017.- №9.- С.136-137.
5. **Катасонов В. Ю.** Цифровые финансы. Криптовалюты и электронная экономика. Свобода или концлагерь? / Катасонов Валентин Юрьевич.- М.: Книжный мир, 2022.- 323 с.
6. **Dorofeev, A.** Digital System Dynamics Model for a Motor Transport Company / A. Dorofeev, N. Filippova, A. Abakarov // Advances in Automation V : Proceedings of the International Russian Automation Conference, Sochi, 10–16 сентября 2023 года. Vol. 1130. – Sochi: Springer Nature Switzerland AG, 2024. – P. 108-116. – DOI 10.1007/978-3-031-51127-1_10. – EDN DYZMWW.

Д.В. Капский^{1,2}, В.Н. Кузьменко³, Н.А. Филиппова⁴, А.В. Коржова¹

КЕЙС АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНО-ПЕШЕХОДНЫМИ ПОТОКАМИ С УЧЕТОМ ДВИЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПОЕЗДОВ В ЗОНЕ ПЕРЕКРЕСТКА

*¹Белорусский национальный технический университет, г. Минск,
d.kapsky@gmail.com*

²Академия управления при Президенте Республики Беларусь, г. Минск

³ООО «Экомост», г. Минск, kuz.vas.nik@gmail.com

*⁴Московский автомобильно-дорожный государственный университет,
г. Москва, iten@bk.ru*

Введение

Особое внимание в последние время уделяется некапиталоемким решениям, основанным на автоматизации управления движением конфликтующих потоков [1,2]. Потенциал различных методов и алгоритмов управления еще не исчерпан и позволяет рассчитывать на эффективное решение проблем при организации движения в городских условиях с учётом различной специфики формирования потоков, режимов движения и формирования местной сети [3-7]. Многие подходы реализуют управление различными транспортными и пешеходными потоками на улицах городов, однако без учета возможного влияния движения железнодорожного транспорта в мощных транспортно-пересадочных узлах с интеграцией железнодорожных станций [8-11].

Перед Научно-исследовательским центром дорожного движения БНТУ была поставлена задача по повышению эффективности дорожного движения на перекрестке ул. Притыцкого и ул. Либаво-Роменская, расположенном в зоне железнодорожного узла в г. Молодечно по заданию городских служб. Банный перекресток.

Основная часть

В настоящее время на данном участке улично-дорожной сети существуют трудности как при переходе проезжей части ул. Либаво-Роменская, так и при проезде транспортом по ул. Либаво-Роменская. В основном это связано с наличием железнодорожных переездов с интенсивным движением железнодорожных грузовых составов, большой интенсивностью движения транспорта по ул. Либаво-Роменская, а также пешеходов на нерегулируемых пешеходных переходах на ул. Либаво-Роменская.

Дополнительным усложняющим фактором является наличие дополнительных проездов на складские и маневровые территории, как с самого перекрестка, так и с проезда к железнодорожному вокзалу. В связи с наличием железнодорожных переездов и необходимостью освобождения при их закрытии на перекрестке изменено направление главной дороги, хотя интенсивность движения по ул. Либаво-Роменская в более чем 2 раза превышает интенсивность движения транспорта через проезд от железнодорожного вокзала.

Исследования включали в себя измерение интенсивности движения транспорта и пешеходов на существующем нерегулируемом перекрестке улиц Притыцкого и Либаво-Роменская, а также исследование мест расположения близлежащих перекрестков и переходов, стоянок транспорта, остановочных пунктов маршрутного пассажирского транспорта, пешеходных тротуаров, условий видимости, железнодорожных переездов и их режимов работы.

Разработан вариант устройства светофорного объекта (рисунок 1) на пересечении улиц Либаво-Роменская и Притыцкого с учетом размещения железнодорожных путей и коммутацией дорожного контроллера с модулем GSM с железнодорожным контроллером для обеспечения вариантов закрытия движения автомобильных транспортных средств и пешеходов через железнодорожный переезд – реализованы вызывные фазы в зависимости от сигнала, поступающего от железнодорожного контроллера, и необходимости пропуска пешеходных потоков через перекресток (рисунок 2).

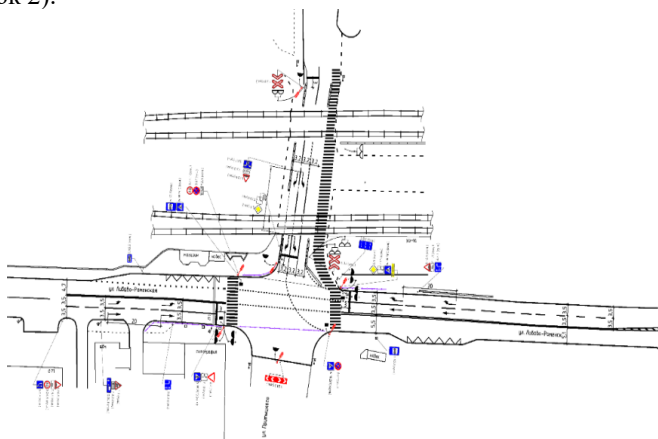


Рис. 1. Схема организации дорожного движения при устройстве регулируемого перекрестка с регулированием движения через ж/д переезд

В результате было выполнено следующее: проведено исследование транспортно-пешеходной нагрузки и условий движения в исследуемой

зоне и моделирование прогнозной ситуации с учетом вероятных сценариев; разработаны схемы пофазного движения, диаграммы переключения светофорной сигнализации и параметры временных уставок для дорожного контроллера с учетом сигналов, поступающих от железнодорожного контроллера, а также от кнопки вызова пешеходами; разработаны схемы организации дорожного движения на постоянный вариант с учетом строительства светофорного объекта; осуществлена оценка (обоснование выбора) варианта регулирования в исследуемом узле (полностью перекресток, пешеходный переход, регулирование движения через железнодорожный переезд), а также схем пофазного движения, диаграмм регулирования, режимов работы светофорного объекта выполнен на основании проведенных исследований.

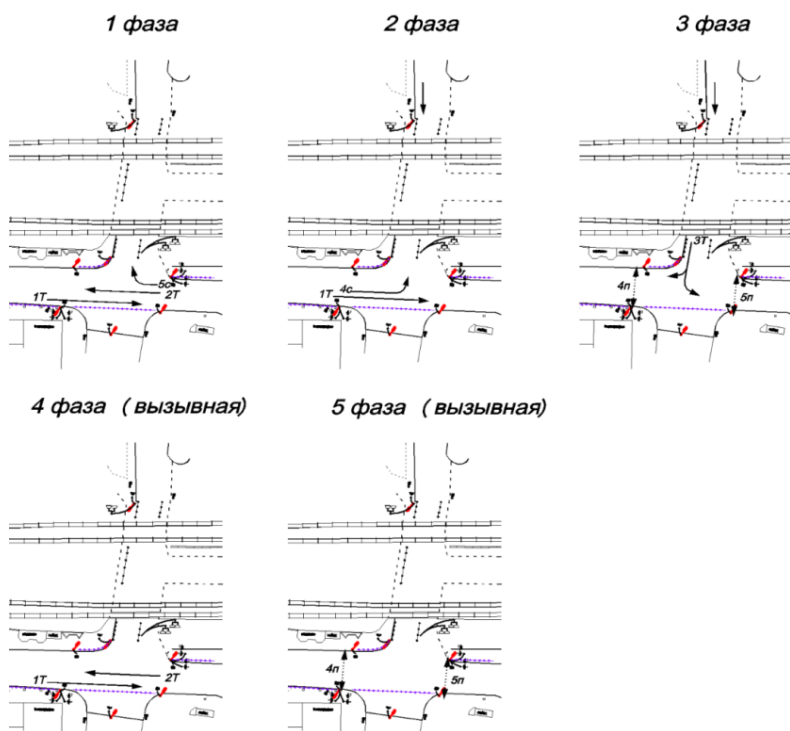


Рис. 2. Схема пофазного движения при устройстве регулируемого перекрестка с регулированием движения через ж/д переезд

Заключение

На основании исследования разработан и реализован вариант проектного решения светофорного объекта и адаптивного управления транспортными и пешеходными потоками с учетом движения железнодорожного транспорта через транспортный узел, прилегающий к нагруженному перекрёстку, который успешно функционирует.

1. **Капский, Д. В.** Концепция развития автоматизированных систем управления дорожным движением в Республике Беларусь / Д. В. Капский, Е. Н. Кот // Вестник БНТУ. – 2005. – № 5. – С. 63-66.
2. **Пржибыл, П.** Телематика на транспорте / П. Пржибыл, М. Свитек. - М.: МАДИ (ГТУ), 2003 - 540 с.
3. **Капский, Д.В.** Повышение качества дорожного движения в очагах аварийности / Д.В. Капский // Наука и техника.–2015, № 3.– С. 36-43
4. **Brilon, W.** Verfahren fuer die Berechnung der Leistungsfaeigkeit und Qualitaet des Verkehrsablaufes auf Strassen. Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik / W. Brilon, M. Grossmann, H. Blanke. - Bonn-Bad Godes-berg: Bundesministerium fuer Verkehr, 1994. - Heft 669. - 350 s.
5. **Аксенов, В.** Экономическая эффективность рациональной организации дорожного движения / В. Аксенов, Е. Попова, О. Дивочкин. - М.: Транспорт, 1987. - 128 с.
6. **Suggs, E.** Festival to Test New Traffic Plan / E. Suggs // Atlanta Journal Constitution. - April 8, 2003.
7. **Капский, Д. В.** Разработка модели транспортных потоков на улично-дорожной сети города / Д. В. Капский, Д. В. Навой, П. А. Пегин // Наука и техника. – 2019. – Т. 18, № 1. – С. 47-54. – DOI 10.21122/2227-1031-2019-18-1-47-54.
8. **Kapski, D.** Economic Assessment of Transport Movements of the Urban Population in Agglomerations / D. Kapski, V. Kuzmenko, L. Khmelnit-skaya // Komunikaie. – 2023. – Vol. 25, No. 3. – P. A137-A146. – DOI 10.26552/com.c.2023.053.
9. **Porada, J.** Das Modell TRANSYT 6C - Zur Optimierung koordinierter Lichtsignalsteuerung / J. Porada. - Aachen, 1980. -104s.
10. **Tepley, S.** Second Edition of the Canadian Capacity Guide for Signal-ized Intersection / S. Tepley, D. Allingham // Institute of Transportation Engineers. - Canada, 1995. - 115 p.
11. **Robertson, D.I.** Transyt: a traffic network study tool / D.I. Robertson // RRL Report LR 253. – 1969.

**ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ХАРАКТЕРИСТИК
ПАССАЖИРООБМЕНА ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНОГО
УЗЛА НА ПРИМЕРЕ Г. МОСКВЫ**

*¹Московский автомобильно-дорожный государственный технический
университет (МАДИ), г. Москва,
mv.yashina@madi.ru, a-tatashev@yandex.ru,*

*²Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта,
Государственный университет управления (ГУУ),
г. Москва*

Введение

В настоящей работе рассматривается задача оценки числа пассажиров, которые находятся на остановочном пункте наземного городского пассажирского транспорта общего пользования (НГПТ) в ожидании прибытия транспортного средства, обслуживающего определенный маршрут. Такая оценка важна при планировании транспортного обслуживания населения. Предлагается подход к оценке числа пассажиров на остановке НГПТ, где число ожидающих пассажиров невелико, и на станции метро при относительно большом пассажиропотоке. Приводятся численные примеры, в частности, сравниваются значения, вычисленные в предположении, что время достижения числом пассажиров фиксированного значения, и в предположении, что это в соответствии с центральной предельной теоремой это время считается распределенным по нормальному закону. Сведения о пассажиропотоках получены посредством обработки данных автоматизированных систем оплаты проезда и автоматизированных систем мониторинга пассажиропотоков. Обсуждаются подходы для оценки характеристик транспортно-пересадочного узла со сложной структурой. Настоящая работа является развитием ранее выполненного исследования оценки эффективности функционирования транспортно-пересадочного узла [1], в основу которой, в свою очередь, легли методические подходы, описанные в работе [2]. Вопросы оценки эффективности функционирования ТПУ и транспортных средств, обслуживающих пассажиропоток на основе систем массового обслуживания, также рассматривались в работах [3-5].

Основная часть

Рассматривается остановочный пункт наземного городского пассажирского транспорта (НГПТ), где пассажиры ожидают прибытия транспортного средства. Требуется оценить, достаточно ли эффективна работа транспорта на данном маршруте для того, чтобы практически не создавалась ситуация, когда пассажиры не могли бы осуществить посадку из-за переполнения транспортного средства. Оценка осуществляется на основе информации о поступающем на остановку потоке пассажиров и интервале между приходами транспортных средств на остановку. Поставим задачу нахождения вероятности того, что число пассажиров, которые придут за время интервала между прибытиями двух транспортных средств, обслуживающих один маршрут, превысит заданное число.

Обозначим через P_k вероятности того, что число пассажиров, которые придут за время интервала между прибытиями двух транспортных средств, обслуживающих один маршрут, превысит значение k . В соответствии с использованным нами подходом, полагаем, что вероятность P_k равна вероятности того, что в интервале времени длительностью T наступит не менее k событий пуассоновского потока, которая, в свою очередь, равна вероятности того, что значение, меньшее T , принимает случайная величина, распределенная по закону Эрланга порядка k со средним значением $\frac{k}{\lambda}$, или, что то же самое, случайная величина, имеющая гамма-распределение.

Пример 1. Пусть $\lambda T = 3$. Используя таблицы гамма-распределения, получаем $P_1 = 0.9502$, $P_2 = 0.8009$, $P_3 = 0.5768$, $P_4 = 0.3528$, $P_5 = 0.1847$, $P_6 = 0.1847$, $P_7 = 0.0351$, $P_8 = 0.0200$.

Предположим, что распределение времени подхода пассажиров на остановочный пункт описывается неординарным пуассоновским потоком. Моменты подхода групп пассажиров образуют пуассоновский поток с интенсивностью λ . С вероятностью a_i число пассажиров в группе равно a_i , $i = 1, 2, \dots$. Пусть P_k — вероятность того, что в интервале времени длительностью T приходит не меньше k пассажиров;

Последовательность значений $P_1, \dots, P_k$ можно вычислять следующим образом. Нами предложена рекурсивная процедура, позволяющая вычислить последовательность значений $P_1, \dots, P_k$.

Пример 2. Пусть $\lambda T = 2.4$. Число пассажиров в группе имеет геометрическое распределение $a_i = p q^{i-1}$, $i = 1, 2, \dots$, где $p = 0.8$. При этом среднее число пассажиров в группе $1/p = 1.25$. Таким образом, за интервал времени длительностью T в среднем, как и в примере 1, приходит $\lambda T/p = 3$ пассажиров. Проведя расчеты, получим: $P_1 = 0.9093$, $P_2 =$

$0.7351, P_3 = 0.5331, P_4 = 0.3522, P_5 = 0.2300, P_6 = 0.1375, P_7 = 0.0859, P_8 = 0.0538$.

За интервал времени прибытия между электропоездами на станцию метро или пригородной железной дороге в часы пик приходит большое число пассажиров и может быть использовано приближение на основе закона больших чисел.

Пример 3. Пусть моменты подхода пассажиров на остановочный пункт образуют пуассоновский поток, причем за интервал времени длительностью T на остановочный пункт приходит в среднем $\lambda T = 120$ пассажиров. Вероятность того, что число пассажиров, поступивших за время T , превысит $k = 140$ равняется вероятности того, что случайная величина, имеющая гамма-распределение с параметрами $k = 140, \theta = 1/120$, превысит 1. Эта вероятность $P_{140} = 0.0401$. В соответствии с законом больших чисел заменим гамма-распределение нормальным распределением с соответствующими параметрами. В результате получаем: $P_{140} = 0.0455$.

При большой интенсивности прихода пассажиров на остановочный пункт может оказаться, что пассажиру будет отказано в посадке из-за превышения предельной пассажироместимости салона прибывшего транспортного средства. В этом случае в качестве модели работы используем систему массового обслуживания.

При анализе характеристик пассажирообмена в транспортно-пересадочном узле со сложной структурой в качестве модели можно использовать однофазную систему массового обслуживания или сеть массового обслуживания, узлами которой являются однофазные системы массового обслуживания, при этом исследования проводятся с помощью имитационного моделирования, либо с использованием эвристических приближенных подходов.

Заключение

Таким образом предлагаются математические модели работы остановочного пункта наземного городского пассажирского транспорта и станции метро входящих в структуру транспортно-пересадочного узла. Оценка характеристик транспортно-пересадочного узла со сложной структурой основывается на применении приближенного подхода. В качестве примеров приводятся результаты расчетов, проведенных на основе предлагаемой методики с использованием данных о работе конкретных транспортно-пересадочных узлов Москвы и входящих в их состав остановочных пунктов наземного городского пассажирского транспорта и станции метрополитена.

1. **Блудян, Н.О.** Анализ и оценка эффективности транспортного обслуживания ТПУ МЦК/ Н.О. Блудян, М.А. Кудряшов, Н. А. Качанова// Грузовик. – 2018. – № 4. – С. 34–40. – EDN XTGSTZ.
2. **Таташев, А.Г.** Дискретная многоканальная система массового обслуживания с отказами и групповым поступлением заявок/ А.Г. Таташев, М. Ахильгова, С.А. Щербуняев// Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2017. – Т. 11, № 7. – С. 23–26. – EDN ZBQMAP.
3. **Казаков, А.Л.** Моделирование транспортно-пересадочных узлов на основе систем массового обслуживания - многофазных и с ВМАР-поток/ А.Л. Казаков, А.А. Лемперт, М.Л. Жарков// Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2016. – № 4(32). – С. 4–14. – DOI 10.20291/2079-0392-2016-4-4-14. – EDN XCND DP.
4. **Баламирзоев, А.Г.** Моделирование транспортного средства как многоканальной системы массового обслуживания с отказами/ А.Г. Баламирзоев, Э.Р. Баламирзоева, А.М. Гаджиева// Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – № 9(40). Часть 2. – С. 9–12. – EDN UMALOH.
5. **Блинкин, М.Я.** Модифицированная схема Зильберталя: анализ обобщение применение/ М.Я. Блинкин, Г.А. Гуревич// Совершенствование перевозок пассажиров автомобильным транспортом: сб. тр. НИИАТ. – 1981. – №. 5. – С. 16–32.

И.О. Полешикина¹, А.А. Ченцов², А.Г. Ченцов², П.А. Ченцов²

ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТОВ ДВИЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ДОСТАВКЕ ГРУЗОВ И ВЫПОЛНЕНИИ МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

¹Московский государственный технический университет гражданской авиации (МГТУ ГА), г. Москва, i.poleshkina@mstuca.ru,

²Институт математики и механики им. Н.Н. Красовского УрО РАН, г. Екатеринбург, chentsov.a@binsys.ru, agchentsov@mail.ru

Введение

Создание надежной транспортной системы малонаселенных и труднодоступных территорий с участием круглогодично действующих автомобильных и железнодорожных магистралей, зачастую, оказывается экономически сложно реализуемым в силу отсутствия достаточных пасса-

жиро- и грузопотоков для возврата вложенных инвестиций. В этих условиях необходим поиск наиболее гибких способов организации перевозок, позволяющих, с одной стороны, оптимизировать затраты на строительство и содержание транспортной инфраструктуры, с другой стороны эффективно использовать транспортные средства с их максимальной загрузкой за счет консолидации отправок, использованием мультимодальных схем доставки и переключения парка между выполнением разных транспортных заданий.

Основная часть

Одной из наиболее труднодоступных в транспортном отношении территорий Российской Федерации является Арктическая зона (АЗ РФ), охватывающая 4,8 млн. кв. км. На территории АЗ располагается частично или полностью 9 субъектов РФ. В АЗ РФ проживает менее 2% населения России. Для восточной части АЗ РФ характерны наиболее суровые погодные условия со среднегодовым перепадом температур в 100 °С от +40 до -60 °С. Особенностью этих территорий является большая разбросанность населенных пунктов, низкая численность постоянно проживающего населения, сезонные ограничения использования автомобильного транспорта, частичное или полное отсутствие железнодорожного сообщения, постоянный, но небольшой спрос на транспортные услуги за исключением случаев освоения новых мест добычи полезных ископаемых.

В условиях отсутствия достаточной наземной транспортной связанности арктических территорий возникает большое количество сложностей нормального жизнеобеспечения этих регионов. Решением данной проблемы может стать внедрение беспилотных авиационных систем (БАС) в существующую транспортную структуру АЗ РФ. Потенциальные возможности применения БАС в арктических и труднодоступных регионах можно разделить на две основные группы: доставка различных категорий груза и выполнение мониторинга разнообразных параметров. Перспективные возможности внедрения БАС в систему доставки грузов северного завоза на примере Республики Саха (Якутия) подробно рассмотрены в работе [1]. Относительно выполнения мониторинга серьезной проблемой в АЗ остается контроль возгорания лесов. Для мониторинга возгораний могут использоваться различные летательные аппараты, оснащенные съемочными системами и датчиками. Согласно приказу Рослесхоза от 09.07.2009 № 290 «О распределении земель лесного фонда по

способам мониторинга пожарной опасности в лесах и зонах осуществления авиационных работ по охране лесов» к землям авиационного мониторинга в РФ относятся 43% (489,4 млн га) лесного фонда, расположенных в транспортно-недоступных зонах, к землям космического мониторинга 1 и 2 уровня – 49% или лишь оставшиеся 8% подвержены наземному мониторингу. Над большей частью лесов в АЗ осуществляется космический мониторинг, точность данных которого сильно зависит от облачности. Для получения снимков высокого пространственного разрешения облачность не должна превышать 15%. В зонах космического мониторинга 2 уровня тушение лесных пожаров осуществляется только при возникновении угрозы для населенных пунктов, что приводит к большим потерям лесного фонда.

Авиапатрулирование лесных пожаров позволяет получить более точные данные. Ограничениями использования пилотируемой авиации для мониторинга лесных пожаров являются: высокая стоимость летного часа, наличие специально подготовленного экипажа, способного осуществлять пилотирование в условиях высокой задымленности и недостаточной видимости. Применение БАС позволит избежать эти ограничений и дополнить получаемые данные спутникового мониторинга в мультиспектральном, гиперспектральном и лидарном диапазонах. БАС позволяют с высокой точностью контролировать направления развития пожара. Анализ полученной съемки может осуществляться с помощью применения технологий машинного обучения. Точность получения аналитической информации таким способом составляет 99,6 %.

Важной научной задачей является разработка методов оптимизации маршрутов движения БАС с учетом существующих ограничений их использования и спросом на предоставляемые услуги. Вышеупомянутые ограничения определяют обширный набор требований, в ряде случаев противоречивых, которые нуждаются в математической формализации. Говоря о развитии транспортной системы, приходится иметь ввиду вопросы встраивания авиационной компоненты в общую структуру. В настоящем исследовании рассмотрены лишь некоторые аспекты, связанные с применением математических методов для решения задачи в данной постановке. Рассматриваемые математические постановки относятся к модельным задачам, в которых отражены некоторые направления дискретной оптимизации. В первом случае, должно иметь место распределение заданий между участниками воздушного движения, во втором случае должна иметь место оптимизация последовательности выполнения заданий этими участниками в пределах выделенных им систем заданий. Во

втором случае имеются ввиду задачи маршрутизации. В своей совокупности здесь реализуются маршрутно-распределительные задачи, которые вполне обоснованно относятся к категории трудно решаемых [2]. Такими являются и составляющие их компоненты: задача разбиения и задачи, обобщающие задачу коммивояжера (ЗК). В данном исследовании мы сосредоточились на проблеме маршрутизации. При этом будем различать постановки, ориентированные на транспортные задачи, и постановки, отвечающие идейно задачам авиапожарного патрулирования. В первом случае требуется рассмотрение минимаксной постановки, а во втором случае, рассматривается схема решения задачи с аддитивными критериями. В первом случае мы ориентируемся на вопрос о разрешимости транспортной задачи при соблюдении ограничений предшествования, а во втором – стремимся к осуществлению большей оперативности в реализации мониторинга лесных массивов. В контексте данного исследования мы рассматриваем вариант динамического программирования в сочетании со специальной конструкцией на основе декомпозиции для двух вариантов агрегирования затрат: аддитивного и варианта, отвечающего минимаксной постановке; упомянутый подход позволяет в случае «двухкластерной» (в смысле декомпозиции) задачи находить композиционный экстремум за вполне приемлемое время [3, 4].

1. **Полешкина И.О.** Применение беспилотных летательных аппаратов в системе доставки грузов северного завоза // Мир транспорта и технологических машин. - 2025. - № 1-2 (88). - С. 22-34. DOI: 10.33979/2073-7432-2025-1-2(88)-22-34
2. **Ченцов А.Г.** Экстремальные задачи маршрутизации и распределения заданий: вопросы теории. Москва - Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2008.
3. **Ченцов А.Г., Ченцов П.А.** Динамическое программирование и декомпозиция в экстремальных задачах декомпозиции // Труды института математики и механики УрО РАН. - 2025. - Т. 31, № 1. - С. 247-272. DOI: 10.21538/0134-4889-2025-31-1-fon-03.
4. **Ченцов А.Г., Ченцов П.А.** Двухэтапное динамическое программирование в задаче маршрутизации с элементами декомпозиции // Автоматика и телемеханика. - 2023. - № 5. - С. 133-164. DOI: 10.31857/S0005231023050070.

ОТСЛЕЖИВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ С ПОМОЩЬЮ МНОГОМАСШТАБНЫХ НЕПРЕРЫВНЫХ СЕТЕЙ АТТРАКТОРОВ

¹Московский государственный технический университет

им. Н. Э. Баумана, г. Москва,

²Бэйханский университет, г. Пекин, КНР

lyx18811706260@yandex.ru

Введение

Традиционные одномасштабные непрерывные сети аттракторов (CAN) обладают ограниченной надежностью при треккинге на больших расстояниях и в средах переменного масштаба [1]. Предлагаемая архитектура MCAN преодолевает это путем интеграции иерархии параллельных CAN-сетей, работающих на разных пространственных масштабах [2]. Автоматическая настройка параметров генетическими алгоритмами и специализированный симулятор городской среды обеспечивают адаптивность [3]. Эксперименты подтвердили стабильное и точное отслеживание траекторий в широком диапазоне скоростей и условий, где одномасштабные системы терпят неудачу.

Многомасштабные непрерывные сети аттракторов

Каждый 2D-слой CAN состоит из сетки нейронов с тороидальной связью. Сеть поддерживает локализованный "скачок активности", который изменяется в зависимости от введенной скорости. При инициализации используется гауссова активация:

$$X_0(i, j) = \exp\left(-\frac{(i-x_0)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{(j-y_0)^2}{2\sigma_y^2}\right) \quad (1)$$

На каждом временном шаге активность нормализуется и обновляется с помощью сдвигов, вызванных частичной скоростью, с линейной интерполяцией:

$$C_f(i, j) = \gamma \left[(1 - \alpha_f) C(i, j) + \alpha_f C(i+1, j+1) \right] \quad (2)$$

Нейроны возбуждают своих соседей и глобально подавляются, чтобы предотвратить неконтролируемую активность:

$$\tau(i, j) = \sum_n W_n \exp\left(-\frac{(i-x_n)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{(j-y_n)^2}{2\sigma_y^2}\right), \quad \mu = \phi \sum_{i,j} X(i, j) \quad (3)$$

Для работы с большими динамическими диапазонами CAN объединяет несколько систем CAN с различным разрешением. Каждая сеть обрабатывает движение в соответствующем масштабе, а оценки местоположения объединяются с помощью кругового средневзвешенного значения:

$$D = \sum_{k=1}^M s_k \cdot \frac{N}{2\pi} \tan^{-1} \left(\frac{\sum_i W_i \sin\left(\frac{2\pi i}{N}\right)}{\sum_i W_i \cos\left(\frac{2\pi i}{N}\right)} \right) \quad (4)$$

Буферы обтекания используются для корректировки декодирования местоположения, когда действие перемещается по краям сетки.

Параметры сети аттракторов (A, E, γ, φ) оптимизируются с использованием генетического алгоритма. Функция приспособленности оценивает точность интегрированных траекторий при различных скоростях. ГА итеративно развивает наборы параметров, выбирая лучших исполнителей, изменяя потомство и оценивая сходимость.

Результат

Наши эксперименты показывают, что использование многомасштабной системы может привести к значительному повышению производительности стандартной модели CAN. Моделирование навигации в масштабе города показало наиболее существенное различие между MCCAIN и CAN, вероятно, из-за более широкого диапазона входных скоростей. В наборе данных Kitti CAN продемонстрировал улучшение производительности, особенно на участках трассы с более высокими скоростями, и незначительные улучшения в других областях, как показано на рис. 1.

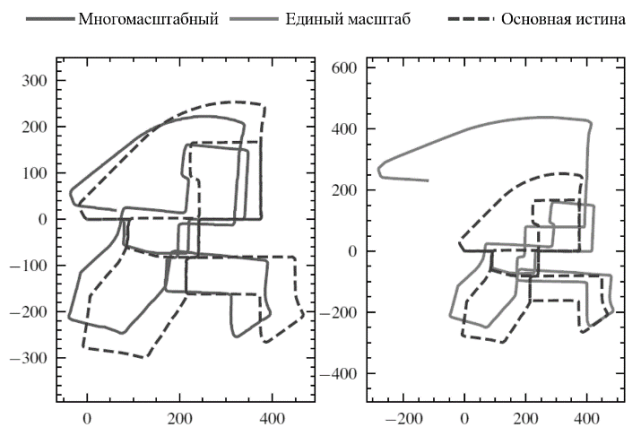


Рис. 1. Сравнение результатов отслеживания траектории

Заключение

Предложенная архитектура многомасштабных непрерывных сетей аттракторов (MCAN) обеспечивает устойчивое отслеживание траектории в широком диапазоне скоростей и пространственных масштабов. Эксперименты подтвердили её превосходство над традиционными одномасштабными CAN-подходами, особенно на больших расстояниях и в сложных средах.

1. **Taube, J.S.** Head-direction cells recorded from the postsubiculum in freely moving rats. I. Description and quantitative analysis / J.S. Taube, R.U. Muller, J.B. Ranck // *Journal of Neuroscience*. – 1990. – Vol. 10, No. 2. – P. 420–435.
2. **Zhou, S.C.** A brain-inspired SLAM system based on ORB features / S.C. Zhou, R. Yan, J.X. Li et al. // *International Journal of Automation and Computing*. – 2017. – Vol. 14, No. 5. – P. 564–575.
3. **Ball, D.** A RatSLAM algorithm with detailed movement control and a diverse heading cell population / D. Ball, S. Heath, G. Wyeth et al. // *2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. – IEEE, 2010. – P. 574–579.

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВАГОНОПОТОКОВ НА ПРИНЦИПАХ ПОНЯТИЯ ТОЧКИ ФЕРМА-ТОРРИЧЕЛИ*

ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г. Ростов-на-Дону, zadorozniy91@mail.ru

Введение

Происходящая последние годы значительная экономико-географическая переориентация грузопотоков на территории РФ не повлекла за собой существенного уменьшения объемов и интенсивности грузоперевозок. Соответственно, не снизилась актуальность исследований, относящихся к вопросам оптимизации распределений вагонопотоков на полигонах, в частности, порожних вагонопотоков. Для операторских и логистических компаний, грузоперевозчика и клиентов функционирование в рамках оптимальных схем распределений вагонопотоков, по самой сути перевозочного процесса, представляет первостепенный и непреходящий интерес в организационно-экономическом отношении.

Проблема управления порожними вагонами не ограничивается только экономическими аспектами. Она также включает в себя вопросы устойчивого развития, так как эффективное использование вагонов напрямую связано с уменьшением энергетических затрат и сокращению углеродного следа перевозки.

Основная часть

Исследования в области оптимизации вагонопотоков становятся критически важными для формирования устойчивой и конкурентоспособной модели работы операторских и транспортных компаний [1-4]. Начнем с краткого анализа результатов, полученных и относящихся к интересующей нас области транспортной логистики.

В современной логистической практике управление порожними вагонопотоками остается одной из наиболее сложных задач. Работы, такие как [1, 3], подчеркивают ключевые проблемы в этой области, включая неэффективное направление движения порожних вагонов, что ведет к выполнению ненужных рейсов и создает дополнительную нагрузку на железнодорожную инфраструктуру.

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-29-00869, <https://rscf.ru/project/24-29-00869/>

В то же время, исследование [2] выявляет другие значимые аспекты проблемы, такие как неравномерность коэффициентов загрузки на различных железнодорожных станциях. Эта неравномерность приводит к сложностям в соблюдении графиков погрузки и разгрузки, что затрудняет оперативное планирование и своевременную доставку порожних вагонов в необходимые пункты погрузки.

Перспективное развитие подхода в математическом моделировании территориального олигополистического рынка перевозок, в основе которого лежит метод экономико-географического разграничения «областей влияния» станций отправления вагонов (см., например [4]) связано с трансформированием территориальной картины областей обслуживания станций на основе так называемого понятия метода точки Торричелли или как точки Ферма, которое заключается в оптимизации маршрутов и снижении транспортных затрат (рис. 1, 2).

Будем рассматривать какую-либо из станций отправления порожних вагонов. Предположим, что в «области влияния» этой станции для очередной погрузки вагонов выделены n станций назначения, которые находятся в точках $A_i(a_i, b_i)$ ($i=1, \dots, n$). Согласно определению, точка Ферма – Торричелли для совокупности точек A_i ($i=1, \dots, n$) обладает тем свойством, что в ней достигает наименьшего значения (на всей плоскости) функция $\sigma(x, y)$ двух независимых переменных [5]:

$$\sigma(x, y) = \sum_{i=1}^n \sqrt{(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2}. \quad (2)$$

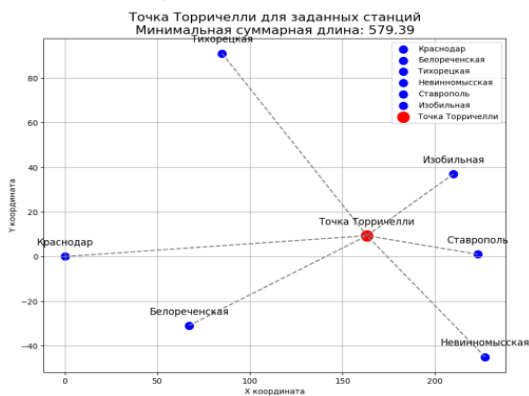


Рис. 1. Перспективное развитие программного моделирования распределения вагонопотоков зон клиентского сервиса

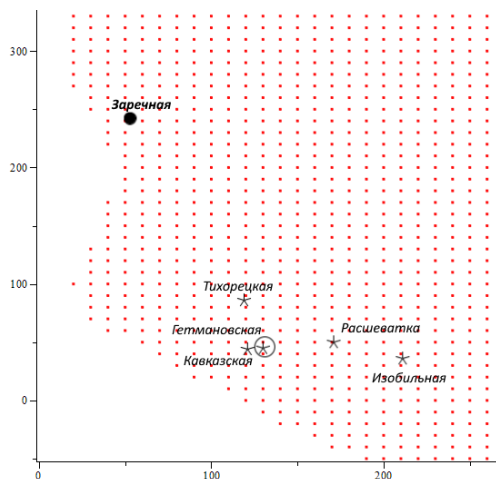


Рис. 2. Точка Ферма – Торричели для пяти станций назначения в «области влияния» станции отправления Заречная

Классическое геометрическое понятие точка Ферма – Торричели представляет собой эффективный и разносторонний математический инструмент исследования в области транспортной логистики.

1. **Shatokhin, A.** et al., 2022. Optimization of Empty Wagon Flows in the Formation of the Technical Work Plan for the Railway Network 61, 361365. DOI: 10.1016/j.trpro.2022.01.058.
2. **Rakhmangulov A., Osintsev N., Muravev D., Legusov A.** An optimal management model for empty freight railcars in transport nodes // Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications. 2019. Т. 2. № 1. Р. 51–71.
3. **Годованый, К.А.** О моделях трансформации деятельности логистического оператора / К. А. Годованый, В.В. Зырянов, А.И. Колобов, Э. А. Мамаев // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. - 2024. - № 1. - С. 55-65.
4. **Числов, О. Н.** Развитие узловой терминально-складской инфраструктуры: модификация методов исследования и прогнозы / О. Н. Числов, В. А. Богачев, В. В. Трапенов [и др.] // Бюллетень результатов научных исследований. - 2023. - № 3. - С. 46-57.
5. **Dalla, L.** A note on the Fermat-Torricelli point of a d-simplex. J.Geom. 70, 38–43 (2001). <https://doi.org/10.1007/PL00000991>

М.В. Колесников¹, В.М. Задорожний¹, М.В. Бакалов¹, Т.Н. Коротеева¹

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОДВИЖЕНИЯ ВАГОНПОТОКОВ: КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ И ПРИНЦИПЫ СКВОЗНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ*

¹ ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г. Ростов-на-Дону, e-mail: maxim_bmw@mail.ru

Введение

Снижение транспортных издержек и повышение точности сроков доставки становятся приоритетами в развитии грузовых железнодорожных перевозок. Отсутствие целостного управления продвижением вагонопотоков приводит к задержкам, неравномерной загрузке инфраструктуры и экономическим потерям участников логистической цепи. Сквозной контроль сроков позволяет выстроить более прозрачную и управляемую систему доставки, основанную на непрерывном мониторинге и прогнозировании. Разработка концептуальной модели, отражающей принципы такого подхода, открывает возможности для оптимизации процессов и повышения эффективности перевозок [1,2].

Основная часть

В условиях увеличения объема перевозок и роста требований со стороны грузоотправителей необходимость в управлении потоком вагонов приобретает новое содержание. Ранее логика движения вагонопотоков опиралась на нормативные графики и диспетчерские команды, сегодня на первый план выходит системный подход, предполагающий анализ и координацию всех стадий перемещения на основе данных в реальном времени.

Современная железнодорожная логистика России сталкивается с рядом вызовов, связанных с эффективностью доставки грузов и соблюдением установленных сроков. Снижение скоростей перевозки непосредственно влияет на сроки доставки грузов. В период с 2017 по 2021 годы размер фактических выплат за просрочку доставки грузов и порожних вагонов составил 10,828 млрд рублей, причем максимальные выплаты пришлось на 2019 год – 2,7 млрд рублей, а в 2021 году они составили 2,2

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-29-00869, <https://rscf.ru/project/24-29-00869>

млрд рублей. Эти данные свидетельствуют о систематических нарушениях сроков доставки и связанных с ними финансовых потерях [3].

Дополнительным фактором, усугубляющим ситуацию, является высокий уровень отказов в согласовании заявок на перевозку. В 2022 году доля частичных отказов достигала 42%, что свидетельствует о значительных трудностях в планировании и организации перевозочного процесса [4].

Нарушения сроков доставки приводят к значительным финансовым потерям для перевозчиков и грузоотправителей. Согласно данным, только 20–30% клиентов ОАО «РЖД» подают претензии по просрочке доставки грузов, что может свидетельствовать о недоверии к системе или о сложности процедуры подачи претензий [5].

Концептуальная модель, предполагающая сквозной контроль сроков доставки, отталкивается от идеи непрерывного наблюдения за продвижением вагонов – не как фиксированного объекта, а как динамического процесса, в котором каждый участок маршрута способен повлиять на общий результат. Здесь невозможно ограничиться диспетчерским наблюдением или ретроспективной отчётностью. Требуется логика предвидения, в которой каждый участок пути подлежит постоянной оценке на предмет отклонений, рисков и потенциальных сбоев (рис.1).

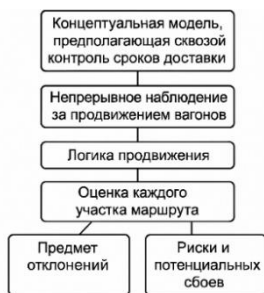


Рис. 1. Модель сквозного контроля сроков

Основой модели выступает связность данных. Нефрагментированный поток информации от отправки до прибытия формирует единое цифровое пространство, в котором события фиксируются не постфактум, а в момент их возникновения. В таком формате даже незначительное изменение темпа продвижения на раннем этапе становится сигналом для коррекции маршрута или временных допусков.

Классическое планирование не позволяет учитывать все переменные, с которыми сталкивается реальная перевозка. Факторы меняются

быстрее, чем фиксируются в документации. Чтобы справиться с этой подвижностью, требуются алгоритмы, способные адаптироваться в процессе, пересчитывать маршрут, перераспределять ресурсы и сигнализировать об отклонениях до того, как они станут проблемой.

Прогнозирование здесь становится не задачей статистического анализа, а инструментом оперативного управления. Речь идёт не только о предсказании времени прибытия, но и о выявлении потенциальных узких мест по всей логистической цепочке. Цифровая платформа, на которой строится управление, должна уметь не просто собирать данные, но и преобразовывать их в действия – автоматически или с участием оператора.

Связь между физическим перемещением вагона и цифровым отражением его маршрута становится основой для всех последующих решений. Информация о задержке на промежуточной станции, изменении погодных условий, простое по вине грузополучателя — всё это должно быть обработано не в отрыве, а в системе, где каждое событие влияет на прогноз и вызывает обновление сценария.

Только в такой архитектуре возможна реализация принципа сквозного контроля. Движение вагона становится не просто маршрутом, а чередой событий, каждое из которых имеет цифровую метку, смысл и влияние.

Концептуальная модель, построенная на непрерывности данных и адаптивности управления, создаёт условия, при которых транспортный процесс приближается к устойчивому ритму. Снижается доля случайностей, возрастает управляемость, растёт доверие между участниками логистической цепи.

В условиях растущей нагрузки на инфраструктуру и требований к точности поставок именно такие подходы становятся основой для дальнейшего развития отрасли – не за счёт экстенсивного роста, а через повышение прозрачности, технологичности и качества управления.

1. **Зак, Ю.А.** Математические модели и алгоритмы построения допустимых и оптимальных маршрутов движения и доставки грузов // Проблемы управления. – 2016. – № 5. – С. 57-70.
2. **Chislov, O.N.** Mathematical modeling of cargo flow distribution in a regional multimodal transportation system / O.N. Chislov, V.M. Zadorozhniy, V.A. Bogachev, A.S. Kravets, T.V. Bogachev, M.V. Bakalov // Transport Problems. - 2021. - Vol. 16, No. 2. - P. 153-165.
3. **Миротин Л.Б.** Оптимизация транспортных затрат в логистике бизнеса / Л.Б., Миротин, Е.А. Лебедев, А.А. Рыжков, Е.В. Булатников // Мир транспорта. – 2013. № 3. С. 84–89.

4. **Осьминин, А.Т.** О разработке интеллектуальной системы управления перевозочным процессом // Железнодорожный транспорт. - 2021. - № 3. - С. 17-27.
5. **Павлов И.Г.** О скорости и сроках доставки грузеных и порожних вагонов / И.Г. Павлов, В.Н. Зубков, М.В. Бакалов // Железнодорожный транспорт. – 2014. – № 12. – С. 10-15.

Н.И. Храпова¹

НЕЧЁТКИЙ МЕТОД РАСЧЁТА ВРЕМЕННЫХ ИНТЕРВАЛОВ РАБОТЫ СИГНАЛОВ СВЕТОФОРА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ НАЗЕМНЫМ ТРАНСПОРТОМ**

*¹ Юго-Западный государственный университет, г. Курск,
KhrapovaNI@yandex.ru*

Введение

Интеллектуальное управление сигналами светофоров играет ключевую роль в обеспечении безопасности дорожного движения (ДД) и оптимизации транспортных потоков. Традиционные методы управления основаны на фиксированных временных интервалах, однако такие подходы часто становятся неэффективны в условиях современной высокой интенсивности движения транспорта и пешеходов. Возникает необходимость в технологиях, позволяющих адаптивно изменять временные интервалы сигналов светофора в зависимости от текущих ситуаций на дороге. Одним из перспективных методов является использование нечёткой логики для обработки визуальной информации, полученной с камер наблюдения.

Нечёткий метод расчёта временных интервалов для работы светофора

Предлагаемый метод основан на интеграции технологий компьютерного зрения и нечёткой логики для автоматического определения оптимального времени задержки управляющих сигналов светофора [1]. Рассмотрим подробно этапы реализации предложенного подхода.

Этап 1: Преобразование и подготовка изображения

Полученная информация с видеокамер проходит предварительную обработку, которая включает в себя преобразование RGB-изображений в

* Работа выполнена в рамках реализации программы развития ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» проекта «Приоритет 2030»

оттенки серого, а также сглаживание полутоновых изображений для уменьшения шумов и повышения качества детекции.

Этап 2: Распознавание контуров объектов

Детекция контуров выполняется методом нечёткого распознавания границ объектов, а именно с помощью определения градиента контуров и угла его направления [2].

Фаззификация входных и выходных переменных, происходит путём ввода восьми переменных, при этом рассчитываются перепады разности градиентов относительно центрального элемента в окне размером 3x3 и их активация.

База нечётких правил определяет связь между входными и выходными переменными.

Выполняется дефаззификация результата, при которой происходит определение принадлежности пикселя к контуру.

Этап 3: Классификация объектов

Изображение с выделенными контурами передаётся в нейронную сеть YOLO для классификации объектов по двум категориям: автомобили и пешеходы. На этом этапе также происходит подсчёт количества объектов каждого класса.

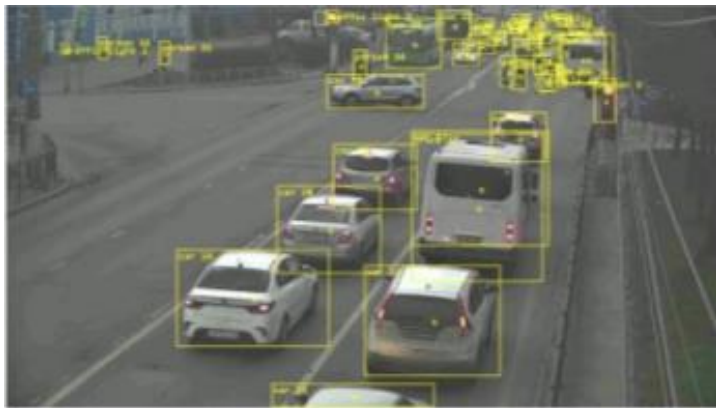


Рис. 1. Результат распознавания объектов на изображении, полученного с видекамеры

Этап 4: Обработка результатов классификатора

Подсчитанное число объектов на прошлом этапе служит основой для следующего этапа фаззификации. Выходная переменная представлена синглтонными функциями принадлежности, ограничивающими минимальное и максимальное время задержек сигналов светофора.

Этап 5: База нечётких правил для определения времени задержки

База нечётких правил необходима для связывания количества обнаруженных автомобилей и пешеходов с необходимым временем задержки управляющего сигнала светофора. При этом используется метод отношения площадей или композиционное правило Заде с максиминной импликацией.

Этап 6: Расчёты временного цикла

Циклограмма работы интеллектуального светофора содержит расчёт продолжительности каждого цикла и общее время работы всей системы [3].



Рис. 2. Диаграмма корректировки времени работы интеллектуального светофора для ситуации, когда на перекрёстке находятся 7 автомобилей и 3 пешехода

Новизна предлагаемого метода заключается в использовании новых баз нечётких правил, обеспечивающих точное выделение контуров объектов на изображениях путём анализа разницы градиентов интенсивности, а также корректировки времени задержки сигналов светофора исходя из текущего числа автомобилей и пешеходов на перекрестке.

Закключение

Таким образом, описанный метод представляет собой комплексный подход, позволяющий эффективно управлять дорожным движением, повышая безопасность передвижений участниками ДД и оптимизируя транспортные потоки.

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024662790 Российская Федерация. Программа детектирования объектов на пешеходном переходе и определения времени задержки управляющих сигналов светофора: № 2024661177: заявл.

20.05.2024: опубл. 30.05.2024 / М. В. Бобырь, Н. И. Храпова; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Юго-Западный государственный университет".

2. **Bobyry, M. V.** Approach to Detecting Pedestrian Movement Using the Method of Histograms of Oriented Gradients / M. V. Bobyr, N. A. Milostnaya, N. I. Khrapova // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. – 2024. – Vol. 58, No. S4. – P. S169-S176.
3. Патент № 2827781 С2 Российская Федерация, МПК G08G 1/01, G08G 1/08. Устройство управления светофором на основе нечеткой логики: № 2023101536: заявл. 25.01.2023: опубл. 02.10.2024 / М. В. Бобырь, Н. И. Храпова; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Юго-Западный государственный университет".

Ю.В. Трофименко¹, Р.С. Рунец²

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ ПОТЕРИ ВРЕМЕНИ И КАЧЕСТВА УДОБСТВА ДВИЖЕНИЯ МОТОРИЗОВАННЫХ ТУРИСТОВ НА ОПОРНОЙ ДОРОЖНОЙ СЕТИ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

¹Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), г. Москва, uwtrofimenko@mail.ru,

²ООО «Центр дорожных инноваций», г. Краснодар, rrunets@gmail.com

Введение

Туризм является важным сектором экономики, способствующим развитию инфраструктуры и увеличению транспортных потоков в регионах с высоким туристическим потенциалом. Краснодарский край, обладая уникальными природными ресурсами и развитой курортной инфраструктурой, привлекает миллионы туристов как из России, так и из-за рубежа. В связи с этим, исследование транспортных потоков, связанных с моторизованными туристами, становится особенно актуальным.

Основная часть

Цель исследования – определение доли и объёма моторизованных туристов в структуре транспортного потока. Анализ и их влияние на па-

раметры движения и уровень обслуживания на опорной сети. Установление фактических границ и продолжительности высокого и низкого туристических сезонов. Расчёт времени проезда туристов и объёмов временных потерь в заторах.

Объектом исследования является часть опорной дорожной сети Краснодарского края, обеспечивающая подъезд к курортам Азово-Черноморского побережья края – Анапа, Геленджик, Новороссийск, Темрюк и транзит к курортам Крыма и Большого Сочи. Данная опорная сеть выполняет стратегическую роль в экономике и логистике края, обеспечивает транзит между соседними регионами и подъездом к ключевым морским портам страны.

Сеть включает участки федеральных трасс М-4, А-146, А-289, А-290 и региональных дорог. Общая протяжённость – 815 км, охватывает ключевые курортные и транзитные направления региона обеспечивая их транспортную связность.

Источником измерений для исследований параметров состояния транспортного потока явилась сеть стационарных транспортных детекторов, входящих подсистему мониторинга потоков ИТС Краснодарского края.

На исследуемом участке опорной дорожной сети расположены 36 стационарных ПУИД круглосуточно фиксирующие с дискретностью в 1 час:

- интенсивность, авт/час;
 - скорости, км/ч;
 - составу транспортного потока по типам ТС,
- в каждом направлении и полосе движения.

Интеллектуальная транспортная система даёт надёжную эмпирическую базу. Для определения параметров транспортного потока исследовались данные количества перемещений АТС в разрезе часового суточного хода. Среднечасовое суточное распределение перемещений транспортных средств демонстрирует высокую степень сезонной вариативности. Всего зафиксировано 1,4 млрд перемещений на опорной сети в год или 160 тыс. в час.

Анализ временного распределения позволил точно определить границы туристических сезонов, высокий сезон продолжался с 15 мая по 15 октября и составил 154 дня, охватывая 729 млн перемещений или в среднем 197 тыс. в час. Пиковая нагрузка была зафиксирована 18 августа, день с максимальной транспортной активностью и точкой разворота годового графика.

Полученные данные подтверждают, что фактический период интенсивной курортной мобильности существенно превышает установленный административно (1 июня – 30 сентября).

Максимальные значения коэффициента загрузки z наблюдаются в высокий сезон, особенно в августе. Наиболее загруженным направлением является обратный поток, связанный с завершением отпускного периода. Опорная дорожная сеть Краснодарского края формирует шесть основных транспортных входов и выходов, через которые ежедневно проходит в среднем порядка 135 тыс. транспортных средств. На основе корреляции между направлениями транзита и туристской ёмкостью курортов установлено, что опорная сеть обеспечивает доступ к местам отдыха следующим образом: 54 % туристов следуют транзитом к курортам Республики Крым (36 %) и Большого Сочи (18 %), тогда как 46 % направляются к курортам Геленджика, Анапы, Новороссийска и Тамани.

В течение календарного года на опорной дорожной сети Краснодарского края зафиксировано 44,6 млн транспортных средств, из которых 22,8 млн (50 %) приходится на высокий туристический сезон. Максимальные месячные значения зарегистрированы в июле и августе по 5 млн автомобилей, минимальные в январе (около 2,7 млн). Доминирующее положение в составе транспортного потока занимают легковые автомобили. По итогам года их доля составляет 80 % (35,8 млн транспортных средств), в то время как доля грузовых автомобилей 20 %, что эквивалентно 8,8 млн единиц. Распределение потоков по сезонам демонстрирует выраженную сезонную асимметрию в легковом сегменте.

Анализ среднемесячных значений показывает, что в высокий туристический сезон на сеть выезжает в среднем 3,7 млн легковых автомобилей в месяц, что на 55 % выше показателя низкого сезона (2,4 млн автомобилей в месяц). Пиковые нагрузки по легковому транспорту приходятся на июль и август 4,4 и 4,5 млн автомобилей соответственно, что практически вдвое превышает межсезонный средний уровень. В сегменте грузового транспорта сезонная вариативность менее выражена. Таким образом, сезонная нагрузка на опорную дорожную сеть формируется преимущественно за счёт увеличения объёма легкового движения.

Общее фактическое время проезда по опорной дорожной сети Краснодарского края составляет 37,7 млн часов в год, тогда как в условиях свободного потока оно оценивалось бы в 18,6 млн часов. Таким образом, суммарные потери времени всех АТС на сети составляют 19,1 млн часов в год. На долю автомобилей с туристами приходится 8,6 млн часов фактического времени проезда, из которых 2,7 млн часов в низкий сезон и 5,9 млн в высокий. Соответствующие потери времени составляют 4,5 млн часов в год, в том числе 1,2 млн в низкий сезон и 3,3 млн в высокий. Общее время проезда при уровне загрузки движением D на опорной дорожной сети составляет 8,5 млн часов в год. При критических уровнях обслуживания E–F общее время составляет

3,4 млн часов.

Указанные данные подтверждают регулярное достижение перегрузки опорной дорожной сети региона, особенно в туристический период. В режиме предзаторов (LOS D) движение осуществляется в 19 % времени в прямом и в 27 % в обратном направлении. Доля времени с критическими уровнями обслуживания E–F, соответствующими режимам заторов и периодических остановок, составляет 8 % для прямого и 11 % для обратного направления движения. Данные результаты свидетельствуют о более высокой степени перегрузки обратного направления.

Анализ потери времени и протяженности заторов в режиме заторовых и предзаторовых ситуаций, составил для уровней загрузки движением E–F 3,4 млн. час/год и 152 км / год., для D 8,5 млн. час/год и 377 км/год соответственно. Применённый подход позволил связать показатели качества движения с физической географией сети, обеспечив количественную базу для пространственного анализа перегрузок и обоснования мер управления движением.

Моторизованные туристы оказывают значительное влияние на эксплуатационные характеристики сети, увеличивая суммарное время проезда на 23 % в год и на 30 % в пиковый туристический период. Это подтверждает их ключевую роль в формировании сезонных перегрузок. Увеличение времени в пути коррелирует с ухудшением уровня обслуживания дорожной инфраструктуры. В течение года 32 % общего времени поездок проходит при уровнях загрузки движением D, E или F, соответствующих предзаторовым и заторовым режимам движения. В пространственном измерении, в высокий туристический сезон более 25 % общей протяжённости опорной сети функционирует при критических уровнях обслуживания (D–F), при этом на участках федеральных автодорог эта доля достигает 40 %. В периоды перегрузки время проезда по сети увеличивается в 2–3 раза, что снижает транспортную доступность и удобство перемещения по сети и снижение качества жизни как туристов, так и жителей региона. Общая дополнительная нагрузка на сеть, обусловленная автотуризмом, составляет 3,4 млн транспортных средств, перевозящих около 6,5 млн туристов в год.

Заключение

Указанные показатели требуют системного учёта и осмысления при транспортном и градостроительном планировании курортных регионах с целью построения эффективных и устойчивых транспортных систем, вызванные высокими сезонными колебаниями транспортного спроса.

НАГРУЗКА НА ИНФРАСТРУКТУРУ СЕТИ РЖД: ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ, АНАЛИЗ И ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ

¹Российский университет транспорта РТУ (МИИТ), г. Москва, petr.kurenkov@mail.ru

²Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ), г. Москва, hawkuu@inbox.ru

Введение

Железнодорожная сеть Российской Федерации играет ключевую роль в транспортной системе страны. Протяженность железных дорог общего пользования составляет около 85 тыс. км, из которых более 49 тыс. км электрифицированы. В условиях структурных изменений мировой логистики, переориентации экспортных потоков и роста транзитных грузоперевозок, особенно в направлении Восточной Азии, сеть ОАО "Российские железные дороги" (РЖД) испытывает возрастающее давление. Существенное увеличение объемов перевозок приводит к перегрузке отдельных участков сети, что влечет за собой снижение пропускной способности, замедление логистических процессов и увеличение издержек.

Анализ текущей нагрузки

Несмотря на впечатляющие объемы перевозок, инфраструктура РЖД характеризуется неравномерным распределением нагрузки. До 70% всех грузовых перевозок сосредоточено на 30% участков сети. Особенно напряженной является ситуация на Восточном полигоне, включающем Байкало-Амурскую магистраль (БАМ) и Транссибирскую магистраль (Транссиб). Именно этот коридор обеспечивает вывоз угля, нефти, металлов, удобрений и других экспортно-ориентированных грузов в направлении портов Дальнего Востока и пограничных переходов с Китаем.

В 2023 году объем перевозок по Восточному полигону достиг 158 млн тонн, что на 8,2% превышает показатель предыдущего года. С 2020 года рост составил свыше 30%, что в условиях ограниченного расширения инфраструктуры привело к возникновению т.н. "бутылочных горлышек". На ряде участков пропускная способность была исчерпана, что потребовало внедрения режима диспетчерского регулирования и временного ограничения приема новых грузов.

Таблица 1

Динамика грузоперевозок по Восточному полигону (2020–2023 гг.)

Год	Объем перевозок (млн тонн)	Прирост к предыдущему году (%)
2020	122	—
2021	134	+9.8%
2022	146	+8.9%
2023	158	+8.2%

Проблема перегрузки осложняется стремительным ростом контейнерных и транзитных перевозок. В 2023 году объем контейнерных перевозок составил 7,4 млн TEU, увеличившись на 14% по сравнению с 2022 годом. Существенный вклад в рост обеспечили маршруты Китай-Европа, а также Китай-Россия. Однако инфраструктура сортировочных и логистических узлов зачастую не адаптирована к такому объему контейнерного потока, что приводит к заторам на станциях, росту времени обработки и дополнительной нагрузке на парк маневрового локомотивного оборудования.

Скорость грузовых перевозок также демонстрирует негативную динамику. Средняя коммерческая скорость на перегруженных участках Восточного полигона снизилась до 38 км/ч. Задержки поездов, увеличение простоев в ожидании маршрута, рост штрафов за нарушение сроков доставки — все это влияет на эффективность железнодорожной логистики и конкурентоспособность железнодорожного транспорта в целом.

Факторы перегрузки

Одним из ключевых факторов увеличения нагрузки является активное развитие торговли с Китаем и странами АТР. Резкое наращивание экспортных отправок, особенно угля и удобрений, направляемых через дальневосточные порты, привело к непропорциональному увеличению объемов на определенных участках сети. В отсутствие координации между грузоотправителями, инфраструктурными подразделениями и логистическими операторами транспортная система работает на пределе.

Существующие сортировочные станции и железнодорожные узлы зачастую не способны эффективно обрабатывать растущий объем грузов, особенно в условиях недостаточного технического оснащения. На многих станциях отсутствует автоматизированное оборудование, а человеческий фактор по-прежнему играет ключевую роль в процессе управления

движением и обработкой вагонов.

Также существенное влияние оказывает износ инфраструктуры. Более 50% железнодорожных линий эксплуатируются свыше 30 лет. Неравномерность технического состояния путей и ограниченное количество участков, пригодных для пропуска тяжеловесных и длинносоставных поездов, ограничивают возможности по оптимизации схем движения и увеличению провозной способности.

Последствия и риски

Перегрузка железнодорожной инфраструктуры приводит к ряду негативных последствий. В первую очередь это снижение скорости доставки грузов, рост логистических затрат и падение уровня клиентского сервиса. Компании-грузоотправители сталкиваются с проблемой недоступности свободных маршрутных окон, необходимостью резервирования вагонов задолго до отгрузки, увеличением оборота подвижного состава.

Для самой РЖД это выражается в росте эксплуатационных издержек, увеличении числа внештатных ситуаций, связанных с превышением допустимых нагрузок, повышении износа путей, стрелочных переводов, локомотивного и вагонного парка. В условиях растущей конкуренции с автомобильным и морским транспортом снижение надежности железнодорожной доставки может привести к оттоку клиентов и ухудшению финансовых показателей.

Устранение перегрузки сети требует как масштабных капитальных вложений, так и системного подхода к организации перевозочного процесса. Одним из приоритетных направлений является модернизация Восточного полигона. В 2024 году на эти цели предусмотрено выделение 366 млрд рублей. Планируется строительство новых вторых путей, удлинение приемо-отправочных путей до 1,5 км, реконструкция перегонов и станций.

Для эффективного использования существующей инфраструктуры необходимо внедрение интеллектуальных систем управления движением, основанных на алгоритмах прогнозирования загрузки, применении цифровых двойников, автоматизации диспетчеризации. Повышение эффективности сортировочных станций возможно за счет внедрения автоматизированных систем управления сортировкой, что позволит сократить оборот вагонов и уменьшить время их нахождения на промежуточных узлах.

Одним из направлений снижения нагрузки является развитие мультимодальной логистики — расширение перевалки грузов в портах, использование речного и автомобильного транспорта на определенных участках, создание логистических хабов с возможностью перераспределения грузопотока. Это позволит снизить нагрузку на магистральные пути и повысить общую гибкость транспортной системы.

Также следует рассмотреть возможность внедрения дифференцированных тарифов на перевозки в зависимости от загрузки участков сети. Это позволит стимулировать перераспределение грузопотоков и снизить пиковую нагрузку на перегруженные участки.

Заключение

Растущая нагрузка на сеть РЖД требует оперативных и стратегических решений. Без устранения инфраструктурных ограничений и повышения эффективности логистических процессов железнодорожная отрасль рискует столкнуться с системным кризисом. Однако при условии реализации комплексных мер — от модернизации путей до цифровизации процессов управления — РЖД способны не только справиться с текущими вызовами, но и обеспечить устойчивый рост и развитие транспортной системы России в будущем.

В перспективе ключевыми приоритетами должны стать ускоренное развитие Восточного полигона, внедрение цифровых инструментов управления грузопотоками, а также углубление интеграции железнодорожного транспорта с другими видами транспорта. Только системный подход и стратегическое планирование позволят не только снизить нагрузку на перегруженные участки, но и создать задел для повышения эффективности всей транспортной системы страны [1-3]. Это требует согласованных действий всех участников логистической цепочки: от государства и РЖД до операторов и грузоотправителей [4-13].

1. РЖД. Отчет об устойчивом развитии за 2023 год. <https://sr2023.rzd.ru>
2. ТАСС. Инвестиции в Восточный полигон. <https://tass.ru/ekonomika/19903269>
3. Snauka. Анализ деятельности ОАО «РЖД» за 2023 год. <https://web.snauka.ru/issues/2025/01/102929>
4. РБК. Доходы РЖД в 2023 году. <https://www.rbc.ru/business/29/03/2024/6606b7339a794785bd9ab0c8>

5. InfraNews. Контейнеризация на сети РЖД.
<https://www.infranews.ru/logistika/zheleznaya-doroga/64096>
6. Аутсорсинг и реформирование железнодорожного транспорта / В. Л. Белозеров, П. В. Куренков, А. В. Астафьев [и др.] // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2021. – № 11. – С. 3-7. – DOI 10.36535/0236-1914-2021-11-1. – EDN CJCUGD.
7. **Борисов, Д. С.** Анализ грузовой работы Московского железнодорожного узла в увязке с транспортно-логистическими терминалами / Д. С. Борисов, М. М. Мизиев, Г. С. Шелков // Недропользование и транспортные системы. – 2024. – Т. 14, № 4. – С. 36-41. – DOI 10.18503/SMTS-2024-14-4-36-41. – EDN BZCPDY.
8. **Шелков, Г. С.** Влияние ограничений на оборот порожнего вагонного парка ОАО «РЖД»: проблемы, последствия и возможные решения / Г. С. Шелков, Д. С. Борисов, М. М. Мизиев // Недропользование и транспортные системы. – 2024. – Т. 14, № 4. – С. 42-48. – DOI 10.18503/SMTS-2024-14-4-42-48. – EDN RQTDYL.
9. Интеллектуализация выбора маршрутов мультимодальных перевозок / П.В. Куренков, М.М. Мизиев, Д.О. Черкасова // Трансформация транспорта и образования: тр. Всерос. науч.-практ. конф. КриЖТ ИрГУПС, посвящ. 130-летию транспортного образования в Сибири (Красноярск, 17–19 окт. 2024 г.). – Красноярск: ИрГУПС, 2024. – С. 407–413. – EDN IOQAPJ.
10. **Власов, В. М.** Управление перевозками грузов в мультимодальной транспортной системе на основе информационных технологий / В. М. Власов, Н. А. Филиппова // Деловой журнал Neftegaz.RU. – 2024. – № 4(148). – С. 52-55. – EDN XPJAUQ.
11. Основные факторы, влияющие на мультимодальную транспортную систему / М. Л. Пономарев, Н. А. Филиппова, А. Ю. Великанов, А. А. Неретин // Мир транспорта. – 2021. – Т. 19, № 5(96). – С. 69-74. – DOI 10.30932/1992-3252-2021-19-5-8. – EDN BOJOVN.
12. **Филиппова, Н. А.** Организация работы взаимодействующих видов транспорта по единым технологическим процессам / Н. А. Филиппова, П. А. Каримова // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2019. – № 2. – С. 42-45. – DOI 10.31044/1684-2561-2019-0-2-42-45. – EDN YXVHZR.

13. Digital Transformation of Enterprises Using a Low-Code Platform / A. V. Ostroukh, N. G. Kuftinova, V. V. Gaevskii [et al.] // Russian Engineering Research. – 2022. – Vol. 42, No. 11. – P. 1203-1206. – DOI 10.3103/s1068798x22110193. – EDN JPWUPB.

П.В. Куренков¹, М.М. Мизиев², Д.О. Черкасова¹

ДИНАМИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КОНТЕЙНЕРНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗОК В РОССИИ НА НАЧАЛО 2025 Г.

*¹Российский университет транспорта РТУ (МИИТ), г. Москва,
petrkurenkov@mail.ru*

*²Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта
(ВНИИЖТ), г. Москва, tagomed.m.m07@gmail.com*

Введение

В 2024–2025 годах объемы контейнерных перевозок железнодорожным транспортом в России демонстрируют умеренный, но стабильный рост. По официальным данным ОАО «РЖД», за 2024 год общее количество перевезенных контейнеров достигло 7,9 млн TEU, что на 5,9% больше, чем в предыдущем году. Наиболее значительные изменения произошли в транзитном сегменте, где объемы выросли на 51,5%, достигнув 1,3 млн TEU. Этот показатель подтверждает важность России как ключевого транзитного коридора между Европой и Азией. В то же время внутрироссийские перевозки продемонстрировали скромный рост на 2,4%, а экспортные и импортные направления испытывали снижение (на 1,1% и 2,9% соответственно). Такая динамика отражает влияние как внутренних экономических факторов, так и внешнеполитических ограничений, таких как санкции и логистические сложности.

Анализ первого квартала 2025 года подтверждает тенденцию к стабилизации. Объем перевезенных контейнеров составил 1,94 млн TEU, увеличившись на 0,6% по сравнению с аналогичным периодом прошлого года. Январь стал наиболее успешным месяцем, продемонстрировав рост на 10%, тогда как февраль и март отметились снижением на 3,5%. Значительный рост наблюдался в категориях зерна (+26,5%), угля (+26%) и цветных металлов (+28%). Напротив, строительные материалы и автомобили испытали падение на 30% и 9% соответственно. Это колебание мо-

жет быть связано как с сезонными факторами, так и с изменением структуры спроса.

Таблица 1

Общая статистика контейнерных перевозок

Показатель	Значение (млн TEU)	Изменение относительно предыдущего года
Общий объем перевозок (2025)	8,0	+1,3%
Внутренние перевозки	4,8	-0,5%
Экспорт	1,6	-1,1%
Импорт	1,1	-2,9%
Транзит	1,3	+51,5%

Примечательно, что основным драйвер роста – это транзитные перевозки, которые обеспечивают около 86% общего прироста.

Прогноз на 2025 год остается умеренно оптимистичным. Институт экономики и развития транспорта (ИЭРТ) ожидает, что к концу года объем контейнерных перевозок достигнет 8 млн TEU. Однако этот рост будет ограничен рядом проблем, таких как инфраструктурные ограничения на Восточном полигоне, где наблюдается перераспределение потоков с Дальнего Востока в пользу Балтики и Азово-Черноморского бассейна. Доля Дальнего Востока уменьшилась с 52% в 2023 году до 38% в начале 2025 года, тогда как доля Балтики выросла до 42%. Кроме того, падение импортных перевозок продолжает оказывать давление на рынок, особенно заметное на Дальнем Востоке, где объемы снизились на 19–20%. Тем не менее, прогнозируется, что к 2035 году объем контейнерных перевозок в России достигнет 10–12 млн TEU за счет модернизации инфраструктуры и повышения уровня контейнеризации различных грузов.

Для реализации этих целей необходимы дальнейшие инвестиции в развитие современных терминалов, расширение ниток графика для контейнерных поездов и обеспечение стабильной тарифной политики. Таким образом, несмотря на текущие сложности, включая логистические ограничения и снижение импортных потоков, контейнерные перевозки железнодорожным транспортом в России продолжают демонстрировать устойчивый рост. Развитие новых транспортных коридоров и региональных терминалов, таких как, открывает дополнительные возможности для увеличения объемов перевозок скоропортящихся грузов и продукции с высокой добавленной стоимостью.

Региональный анализ контейнерных перевозок железнодорожным транспортом в России

Анализ доли различных регионов в общем объеме контейнерных перевозок железнодорожным транспортом в России демонстрирует значительную географическую неравномерность. В 2023 году половина всех контейнеров была перевалена через порты Дальневосточного бассейна, что составляет 50% от общего объема, тогда как на Балтику и Азово-Черноморский бассейн пришлось соответственно 26% и 21%. Такая структура отражает изменение внешнеторговых связей России, которая все больше ориентируется на восточные и южные направления. Увеличение доли Китая в импорте до 53% подчеркивает стратегическую важность развития логистической инфраструктуры на Дальнем Востоке и в южных регионах страны. Тем не менее, текущие ограничения пропускной способности Восточного полигона создают узкие места, что может замедлить дальнейший рост экспорта.

Одним из ключевых трендов последних лет стало перераспределение контейнерных потоков между регионами. Если в 2023 году доля Дальнего Востока составляла 52%, то к началу 2025 года она снизилась до 38%, тогда как доля Балтики выросла до 42%. Это изменение обусловлено структурными сдвигами во внешней торговле, такими как снижение импортных операций через Дальний Восток (на 19-20%) и увеличение экспортных отправок в западном направлении. Эксперты ожидают возможный отскок внешнеторговых грузов к осени, однако значительного взрывного роста не предвидится. Сложившаяся ситуация подчеркивает необходимость создания альтернативных маршрутов, таких как Северный морской путь, для снижения зависимости от традиционных коридоров.

Важную роль в обеспечении растущих объемов контейнерных перевозок играют крупнейшие железнодорожные узлы, особенно Западно-Сибирская железная дорога. По состоянию на 2024 год эта дорога лидировала по объему погрузки, перевезя более 251 млн тонн грузов. Положительная динамика связана с развитием транспортно-логистического центра «Сибирский», увеличением товарооборота с Китаем, ОАЭ и Индией, а также ростом контейнерных перевозок. Однако проблемы, такие как смерзание груза в начале года и дефицит порожнего состава, не позволили достичь запланированных темпов роста. Завершение второго этапа модернизации Восточного полигона может увеличить провозную способность на 15–20%, что позволит сократить сроки доставки транзитных контейнеров и улучшить качество логистических цепочек.

Проблемы и ограничения

1. Инфраструктурные ограничения: Дефицит фитинговых платформ и скопление порожних контейнеров в западных регионах создают узкие места, увеличивая сроки доставки.

2. Тарифная политика: Индексация тарифов на 13,8% в конце 2024 года и дополнительное повышение на 5% в начале 2025 года оказали давление на операторов и клиентов.

3. Геополитические факторы: Санкции и торговые ограничения вынуждают компании переориентировать маршруты, особенно заметно это на направлениях через Санкт-Петербург и Дальний Восток.

Перспективы развития

К 2030 году прогнозируется рост контейнерных перевозок до 10–12 млн TEU, при этом экспорт и транзит останутся основными драйверами. Однако для достижения этих целей необходимы значительные инвестиции в развитие инфраструктуры, включая строительство новых терминалов и модернизацию существующих.

Возможности для дальнейшего улучшения показателей

Для минимизации простоев и повышения пропускной способности участков с высокой нагрузкой предлагается внедрить систему оперативного переключения части грузопотока на автотранспорт на станциях, оснащённых мобильными кранами и терминальной инфраструктурой. Это позволит частично разгрузить наиболее загруженные железнодорожные узлы и сохранить общую скорость доставки.

Преимущества:

- Снижение времени простоя поездов на перегрузочных станциях — до 20–30%.

- Повышение общей пропускной способности условного Восточного полигона на 10–15% за счёт дублирования маршрутов через автомобильную сеть.

- Увеличение надёжности логистических цепочек и снижение зависимости от сезонных факторов.

- Возможность гибкой реакции на изменение потоков грузов и внешних ограничений (санкции, изменения маршрутов).

- Рекомендации по реализации:

- Создание мобильных модульных терминалов на стратегически важных участках (в будущем).

- Разработка единой системы управления мультимодальными перевозками.
- Интеграция данных о загрузженности станций и наличия свободных мощностей в реальном времени.

Выводы

Анализ данных за 2024–2025 годы демонстрирует умеренный, но устойчивый рост объёмов контейнерных перевозок железнодорожным транспортом в России, обусловленный в первую очередь развитием транзитного сегмента. На фоне снижения импортных и экспортных операций через традиционные направления наблюдается перераспределение грузопотоков в пользу Балтики и Азово-Черноморского бассейна. Основными вызовами остаются инфраструктурные ограничения, рост тарифов и геополитическая неопределённость. Однако модернизация полигонов железных дорог, развитие новых терминалов и внедрение мультимодальных решений открывают возможности для увеличения объёмов перевозок до 10–12 млн TEU к 2035 году [1–4]. Для устойчивого развития отрасли необходимы системные инвестиции, цифровизация логистических процессов и создание гибкой сети маршрутов, способной адаптироваться к внешним изменениям [5–12].

1. Развитие Восточного полигона: стратегия модернизации железнодорожной инфраструктуры и её роль в укреплении экономики России / **П.В. Куренков, М.А. Дежков, М.М. Мизиев [и др.]** // Экономика железных дорог. – 2025. – № 3. – С. 37–50. – EDN HLRFRE.
2. Вопросы организации мультимодальных перевозок грузов / **П.В. Куренков, Е.А. Герасимова, М.М. Мизиев, Д.О. Черкасова** // Прогрессивные технологии в эксплуатации наземных транспортно-технологических комплексов и логистических транспортных систем: сб. тр. междунар. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов, аспирантов и молодых учёных, посвящ. 110-летию со дня рождения проф. Каракулева А. В. (Санкт-Петербург, 26 февр. 2024 г.). – Казань: ООО "Бук", 2024. – С. 211–217. – EDN RSSNHU.
3. Интеллектуализация выбора маршрутов мультимодальных перевозок / **П.В. Куренков, М.М. Мизиев, Д.О. Черкасова** // Трансформация транспорта и образования: тр. Всерос. науч.-практ. конф. КриЖТ ИрГУПС, посвящ. 130-летию транспортного образования в Сибири (Красноярск, 17–19 окт. 2024 г.). – Красноярск: ИрГУПС, 2024. – С. 407–413. – EDN IOQAPJ.
4. Логистика Восточного полигона: стратегия развития и оптимизация транспортных потоков. Предложения / **П. В. Куренков, А. А. Никонюк, Н. Н. Ежова [и др.]** // Логистика. – 2025. – № 2(219). – С.

- 10-14. – EDN PCDIJD.
5. Контейнерные перевозки в России и в мире. Обзор и анализ научных исследований / **А. П. Иванов, Т. Цун, В. Вэйнань, М. М. Мизиев** // Экономика железных дорог. – 2025. – № 2. – С. 41-60. – EDN KRRBWJ.
 6. Вопросы организации мультимодальных перевозок грузов / **П. В. Куренков, Е. А. Герасимова, М. М. Мизиев, Д. О. Черкасова** // Прогрессивные технологии в эксплуатации наземных транспортно-технологических комплексов и логистических транспортных систем : Сборник трудов международной научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 110-летию со дня рождения профессора Каракулева А. В., Санкт-Петербург, 26 февраля 2024 года. – Казань: Общество с ограниченной ответственностью "Бук", 2024. – С. 211-217. – EDN RSSNHU.
 7. Состояние и перспективы развития контейнерных перевозок / **А. В. Астафьев, С. А. Сафронов, А. П. Иванов [и др.]** // Вестник транспорта. – 2023. – № 11. – С. 2-11. – EDN BRQTRP.
 8. Аутсорсинг и реформирование железнодорожного транспорта / **В. Л. Белозеров, П. В. Куренков, А. В. Астафьев [и др.]** // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2021. – № 11. – С. 3-7. – DOI 10.36535/0236-1914-2021-11-1. – EDN CJCUGD.
 9. **Филиппова, Н. А.** Цели и риски деятельности как факторы регулирования в социальных системах на транспорте / **Н. А. Филиппова, И. А. Башмаков, Д. Ю. Кочегура** // Мир транспорта. – 2021. – Т. 19, № 2(93). – С. 13-18. – DOI 10.30932/1992-3252-2021-19-2-2. – EDN ZJXXGP.
 10. Основные факторы, влияющие на мультимодальную транспортную систему / **М. Л. Пономарев, Н. А. Филиппова, А. Ю. Великанов, А. А. Неретин** // Мир транспорта. – 2021. – Т. 19, № 5(96). – С. 69-74. – DOI 10.30932/1992-3252-2021-19-5-8. – EDN BOJOVN.
 11. **Iovleva, E.** Ensuring Security of Public Transportation Control Systems / **E. Iovleva, N. Filippova, A. Sidorov** // Advances in Automation V : Proceedings of the International Russian Automation Conference, Sochi, 10–16 сентября 2023 года. Vol. 1130. – Sochi: Springer Nature Switzerland AG, 2024. – P. 479-489. – EDN TXHXEK.
 12. Integration of Scalable IT Architectures on the Basis of Data Fabric Technology / **N. G. Kuftinova, A. V. Ostroukh, N. A. Filippova [et al.]** // Russian Engineering Research. – 2022. – Vol. 42, No. 11. – P. 1199-1202. – DOI 10.3103/s1068798x22110144. – EDN YHCMAQ.

ОБУЧЕНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЛЕКСА НАТУРНО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

*¹Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана, г. Москва,
mnasm@bmstu.ru, ant.m9@yandex.ru*

Введение

К современным гусеничным машинам (ГМ) предъявляются высокие требования к подвижности, что обуславливает их движение в режимах, близких к предельным по управляемости. Для снижения вероятности и предотвращения последствий ошибки водителя могут применяться системы помощи водителю. Такие системы показывают высокую эффективность на колёсных машинах, поэтому актуален вопрос адаптирования или создания новых систем помощи водителю для гусеничных машин. В данной работе предлагается достичь повышения управляемости ГМ путём внедрения системы помощи водителю в повороте (СПВП), основанной на измерении и прогнозировании параметров движения.

Основная часть

СПВП состоит из трёх элементов: сенсорной части, наблюдателя и системы противодействия заносу. Сенсорная часть служит для определения параметров движения машины. Она включает в себя датчики, а также устройства для предварительной обработки данных. Наблюдатель принимает подготовленные сенсорной частью данные и прогнозирует значение критерия устойчивого движения ГМ. Система противодействия заносу на основе полученного значения критерия устойчивого движения определяет необходимость и объём воздействия на трансмиссию машины, после чего принимает меры по предотвращению развития заноса.

Эффективность предложенной СПВП в большой степени зависит от точности прогнозирования наблюдателем критерия устойчивого движения ГМ. В работе [1] предложено использовать угол увода α , представляющий собой угол между касательной к траектории движения, проведённой через центр масс ГМ, и продольной осью ГМ. Чем больше угол увода α при повороте, тем менее предсказуемо дальнейшее поведение машины. Однако определение угла увода α с приемлемой точностью на практике затруднительно. Для оценки угла увода α при работе СПВП предлагается использовать наблюдатель на основе нейронной сети.

Подготовка наблюдателя на основе нейронной сети производилась с использованием комплекса натурно-математического моделирования. Применяемый комплекс был разработан на кафедре СМ9 МГТУ им. Н.Э. Баумана и уже был задействован для ряда исследований, связанных с динамикой и управляемостью машин, как гусеничных, так и колёсных [2].

Используя комплекс натурно-математического моделирования, оператор проводил обучающие заезды, в ходе которых записывались параметры движения ГМ, являющиеся вектором входных параметров наблюдателя, и соответствующий им действительный угол увода α . Далее было проведено обучение нейронной сети, то есть вычисление взаимосвязей между входными и выходным параметрами. По окончании обучения наблюдатель на основе нейронной сети должен быть способен на основе подаваемых в него входных параметров прогнозировать соответствующий этим параметрам угол увода α .

Эффективность наблюдателя зависит от качества и содержательности обучающего массива. Наблюдатель на основе нейронной сети был обучен на массиве параметров, включающем в себя данные заездов по 4 трассам протяжённостью более 1 километра. Для создания обучающих и испытательных трасс использовался метод генерации, учитывающий статистические характеристики трасс существующих ГМ [3].

Для испытания оператор проводит заезд по трассе, которая не была использована при обучении наблюдателя. Траектория движения ГМ во время испытательного заезда наблюдателя представлена на рисунке 3.

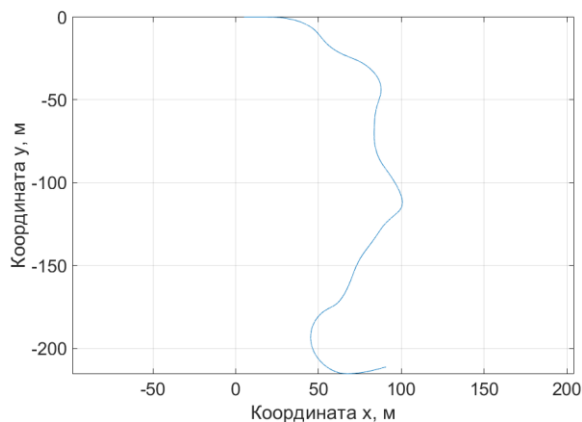


Рис. 3. Траектория движения ГМ во время испытания наблюдателя

Результаты прогнозирования наблюдателем угла увода α во время испытательного виртуального заезда представлены на рисунке 4.

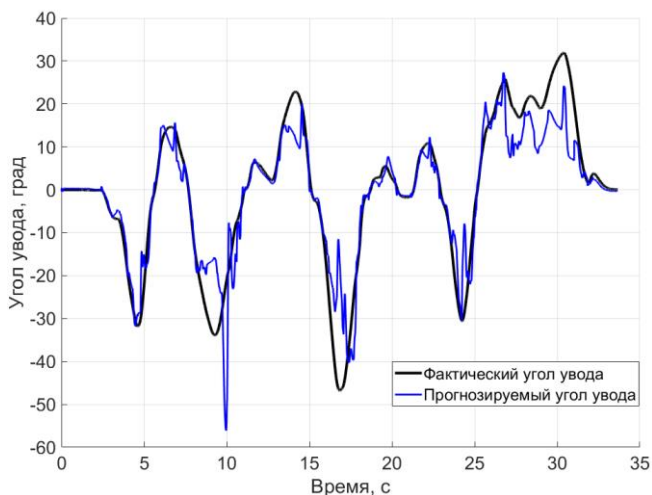


Рис. 4. Действительный и прогнозируемый наблюдателем углы увода α в течение виртуального испытательного заезда

Из графика на рисунке 4 следует, что наблюдатель показывает хорошие результаты. Видно, что при значениях угла увода α до 5 градусов в обоих направлениях наблюдатель в состоянии их спрогнозировать. При увеличении угла увода α замечено расхождение прогноза с действительностью, однако наблюдатель всё ещё способен определить характер движения машины.

Заключение

Исходя из проведённой работы можно сделать вывод, что наблюдатель на основе нейронной сети потенциально пригоден для использования в СПВП. Также показана эффективность использования комплекса натурно-математического моделирования для обучения и проверки наблюдателей на основе нейронной сети. Применение комплекса натурно-математического моделирования позволяет получать корректные и достаточно разнообразные данные, учитывающие некоторые особенности управления машин водителями. Следует отметить, что указанный подход несравнимо проще проведения натурных заездов гусеничных машин с целью получения данных обучающего массива.

1. **Стадухин А.А.** Метод определения границ управляемого движения гусеничной машины / А.А. Стадухин, В.Б. Холоденко, Н.А. Мокрецов // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2022. – №2. – С. 115-126. – DOI: 10.46960/1816-210X_2022_2_115
2. **Евсеев К.Б., Косицын Б.Б., Котиев Г.О., Стадухин А.А.** К вопросу оценки управляемости гусеничных поездов на этапе проектирования с использованием комплекса натурно-математического моделирования. Труды НАМИ. 2022;(1):35-51. <https://doi.org/10.51187/0135-3152-2022-1-35-51>
3. **Косицын Б.Б., Мирошниченко А.В., Стадухин А.А.** Моделирование реализаций случайных функций характеристик дорожно-грунтовых условий при исследовании динамики колесных и гусеничных машин на этапе проектирования // Известия МГТУ «МАМИ». – М., 2019. Вып. №3 (41). С. 36 - 46 DOI: 10.31992/2074-0530-2019-41-3-36-46

РАЗДЕЛ 4

ПРОБЛЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ ПРИ
ПЕРЕХОДЕ
К БЕЗОПАСНОМУ
НИЗКОУГЛЕРОДНОМУ
РАЗВИТИЮ
ТРАНСПОРТА

**НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ УЧЕТА
ГУМАНИТАРНЫХ И СОЦИАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ
ТРАНСПОРТНОЙ ПОЛИТИКИ ДЛЯ НИЗКОУГЛЕРОДНОГО
РАЗВИТИЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ
ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЙ**

¹Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), г. Москва, e-mail: ywtrofimenko@mail.ru

Введение

Проблемные вопросы оценки динамики взаимоотношений науки, техники, общества на примере моделирования и оптимизации межкуниципальной мультимодальной мобильности в городских агломерациях за счет продвижения гуманитарных и социальных компонентов транспортной политики в целях низкоуглеродного развития городских транспортных систем в условиях широкого внедрения информационно-коммуникационных технологий и возможных климатических изменений в мировой науке пока не получили мультидисциплинарного научного осмысления, научного обоснования, и сопровождения реализации конкретных проектов. В России отсутствует опыт формирования и реализации научных проектов по управлению мобильностью.

Основная часть

Цель исследования – разработка научной методологии междисциплинарных исследований для оценки динамики взаимоотношений науки, технологий и общества на примере развития городских транспортных систем.

Задача - минимизировать выбросы парниковых газов от инфраструктуры разных видов городского транспорта (пассажирского, грузового, велосипедного и пешеходного) на протяжении всего жизненного цикла, сократить затраты и повысить качество планов строительства и эксплуатации, а также повысить эффективность мультимодальных транспортных систем в агломерациях.

Это будет достигнуто за счет моделирования и оптимизации межкуниципальной мультимодальной мобильности в городских агломерациях, продвижения гуманитарной и социальной составляющих транс-

портной политики с целью содействия низкоуглеродному развитию городских транспортных систем в условиях возможных климатических изменений.

Переход к низкоуглеродному транспорту требует не только технико-экономического анализа, но и особого внимания к справедливости, равенству и благополучию. Будущая политика должна соответствовать целям социального развития для обеспечения энергетического равенства и социальной справедливости. В то же время выбросы парниковых газов в транспортном секторе возникают в разных источниках, что делает их учет и управление особенно сложными. Пространственная и временная неоднородность, а также мультимодальные взаимодействия выбросов парниковых газов при перемещении людей и грузов становятся все более сложными из-за быстрой интеграции информационно-коммуникационной составляющей развития мегаполисов.

Усложняющееся «восприятие» транспортной среды транспортными средствами, реализуемое через системы управления дорожным движением, навигацию, помощь и информирование водителей и пассажиров разного возраста, социального статуса и уровня образования, способствует росту различий между участниками дорожного движения по уровню комфорта, способности преодолевать препятствия и управлять опасными ситуациями. Это может привести к росту дорожно-транспортных происшествий и социальной напряженности из-за транспортной дискриминации отдельных групп населения.

Мероприятия по управлению мобильностью имеют решающее значение для обеспечения комфортного, экологически устойчивого, безопасного и эффективного по времени перемещения людей и грузов из одной точки пространства в другую. Необходимо научиться управлять мобильностью каждого жителя города в режиме реального времени, предлагая ему выбор из ограниченного набора стереотипов транспортного поведения, выстроенных на основе технологически поддерживаемых этических норм или правил.

Эта задача требует принятия скоординированных мер — координационных, информационных, организационных и консультационных — с привлечением широкого круга специалистов. Поэтому научные исследования направлены на разработку методов моделирования и оптимизации межмуниципальной мультимодальной мобильности и поддерживают совместную оптимизацию алгоритмов поведения людей, дорожного движения, транспортных выбросов и механизмов управления в городских агломерациях. Необходимо изучить взаимосвязи между типичными

параметрами мультимодальных перевозок и политикой стимулирования, выявить особенности реализации транспортной политики в городских агломерациях (на примере г. Москвы) с учетом синергетических эффектов, межкультурной адаптивности и социальной справедливости.

Научные методы и подходы к исследованию включают теорию систем, методы оптимизации, теорию управления, транспортное планирование, геоинформационные системы, методы морфологического и математического анализа, методы машинного обучения, системное прогнозирование, компьютерное моделирование, теорию риска, распределенные системы мониторинга ресурсов и процессов с использованием виртуальной и дополненной реальностей, методы интеллектуальной ситуационной осведомленности, самодиагностику и управление. Экспериментальные методы исследования включают: проведение измерений; сбор и обработку статистической информации; социологические опросы различных фокус-групп населения; вычислительные эксперименты; верификацию исходных данных и результатов. Эти усилия обеспечат поддержку устойчивого развития транспорта в мегаполисах.

Одной из целей данной работы является систематическое решение ключевых вопросов в политике низкоуглеродного транспорта по всем направлениям, таким как количественная оценка синергетических эффектов, кросс-культурная адаптивность и повышение социальной справедливости посредством построения политической структуры, динамического проектирования сценариев, проверки кросс-национальной адаптивности, оценки справедливости и интеллектуальной поддержки принятия решений. В конечном счете проект направлен на содействие эффективной реализации стратегий низкоуглеродного транспорта в крупных городах, предоставляя воспроизводимый научный путь и практическую демонстрацию глобального сокращения и контроля выбросов парниковых газов транспортом.

Заключение

Главной научной и общественной значимостью результатов данного проекта является то, что он может дать толчок в научном осмыслении процессов автомобилизации на современном этапе технологического развития в различных кругах общества, в выработке рациональных путей формирования эффективных и безопасных транспортных систем будущего с учетом транспортных предпочтений каждого индивидуума с учетом национальных особенностей и предпочтений.

А.Н. Блохин¹, Н.А. Гринкевич², В.К. Калмыков²

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО МНОГОКОЛЕСНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ FCEV

*¹Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева, ООО «ЗВЕЗДА», г. Нижний Новгород,
vezdekhod@zavod-vezdekhodov.ru*

*²Московский автомобильно-дорожный государственный технический
университет (МАДИ), г. Москва, e-mail: tentin3@mail.ru*

Введение

Гибридные автомобили на топливных элементах (Fuel Cell Electric Vehicles, FCEV) являются перспективным направлением развития наземных транспортных средств. Топливные элементы вырабатывают электрическую энергию, которая используется системами управления движением и подсистемами автомобилей, отвечающими за безопасность эксплуатации, и другими подсистемами выполняющими вспомогательные функции. Топливные элементы работают по принципу электрохимической реакции происходящей между водородом и кислородом, которые специальным образом подаются в установку на топливных элементах. При этом кислород получают из воздуха, а для хранения и подачи водорода используют специальные подсистемы: объемные баллоны для хранения, рассчитанные на давления до 700 бар, и герметичные системы подачи водорода в установку на топливных элементах.

Основная часть

В работе в качестве объекта исследования выбрано многоосное перспективное транспортное средство, представленное на рисунке 1.



Рис. 1. Основные технические характеристики объекта исследования – перспективного транспортного средства FCEV

В автомобилях FCEV происходит многократное преобразования энергии. Для достижения наибольшей эффективности преобразований энергий используются многоуровневые системы управления.

В работе упрощено представлена и рассмотрена система управления перспективным многоосным транспортным средством (рисунок 2).

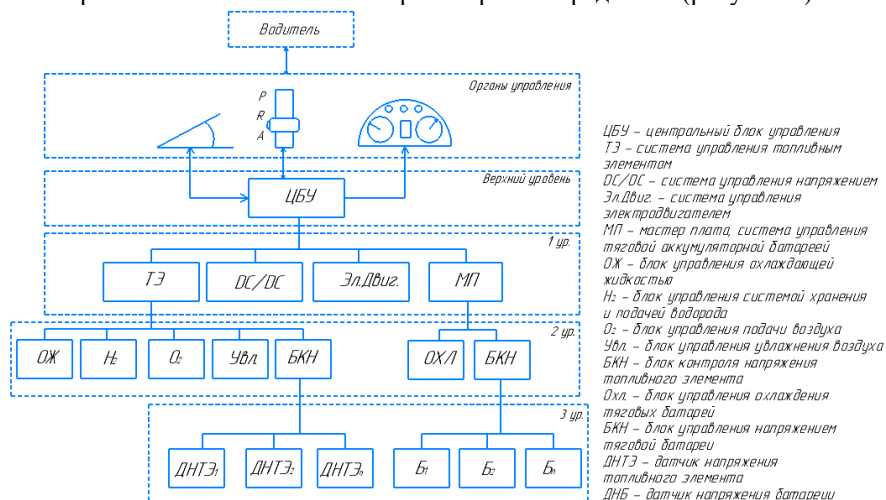


Рис. 2. Система управления транспортным средством FCEV

Иерархическая система управления транспортным средством позволяет увязывать сигналы, поступающие от водителя транспортного средства, в систему верхнего уровня (центральный микропроцессорный блок управления), управляющую в режиме реального времени одновременной работой всеми подсистемами 1, 2 и 3-го уровня. Система верхнего уровня устанавливает приоритетность при выполнении текущих задач, координирует действия блоков управления подсистем. В микропроцессорной системе верхнего уровня заложены алгоритмы эффективного преобразования энергии, позволяющие достичь максимальной экономичности, разные режимы производительности, задаваемые водителем органами управления. Важнейшей функцией, реализуемой в системе верхнего уровня, является обеспечение безопасности работы всех подсистем FCEV, предотвращения риска возникновения аварий при нештатных ситуациях, таких как утечек водорода, перегрузок по токам, при достижении максимальных напряжений или максимальном заряде тяговых аккумуляторных батарей и т.д.

Система управления перспективного многоосного транспортного средства с гибридной силовой установкой FCEV изготовлена, протестирована на экспериментальном стенде и при натурных испытаниях в составе машины.

Работа проводилась совместно со специалистами МФТИ/Физтех в рамках Договора №075-02-2022-1627/Д22-296 от 28.07.22.

Заключение

Исходя из всего вышесказанного, исследование подтвердило высокий потенциал гибридных автомобилей на топливных элементах (FCEV) как одного из перспективных направлений развития экологически безопасного транспорта. Представлена и апробирована многоуровневая система управления автомобилем, обеспечивающая эффективную координацию работы функциональных модулей разного уровня, оптимизируя процессы энергопреобразования и гарантируя безопасность эксплуатации. Проведенные эксперименты показали готовность технологии к практическому внедрению, открывая перспективы для массового перехода к транспорту нового поколения.

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ IN-MEMORY КОМПЬЮТИНГ АВТОНОМНОГО ТРАНСПОРТА

Донецкая академия транспорта, Донецк, engirina5@mail.ru

Введение

Экономика современного автономного транспорта определяется метрикой энергосбережения и минимальной задержки формирования актуаторных сигналов управления транспортом. Чтобы выполнить эти два требования, необходимо отойти от классической машины фон Неймана. Что взамен? In-мемоу компьютеринг (рис. 1) – это автоматическое и беспроцессорное управление транспортным средством на основе исчерпывающего мониторинга окружающей среды на умных и избыточных структурах данных. Здесь энергосбережение и высокое быстродействие обеспечивается отсутствием мощного процессора, который заменяется read-write транзакциями на элементах памяти. Предлагается использовать механизм компьютеринга, который представляет собой гармоническое отношение между алгоритмом и моделью [1], который позволяет в пределе обнулить вычислительную сложность алгоритма за счет экспоненциальной избыточности структур данных. По этому пути идёт сейчас современный artificial Intelligence или интеллектуальный компьютеринг [2].

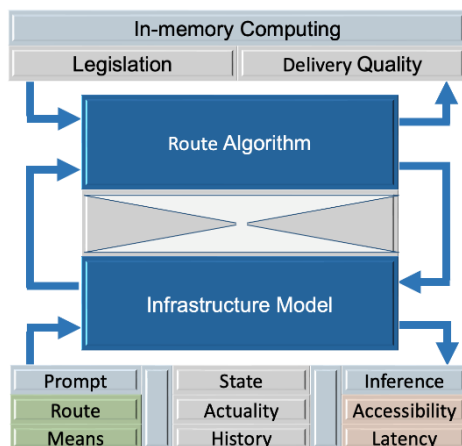


Рис. 1. In-мемоу компьютеринг автономного транспорта

Основная часть

Архитектура управления автономным транспортом может быть осуществлена с помощью облачного сервиса или другого компьютерного локального терминала, имеющего радиопередатчик. Облачные и терминальные (внутри транспортного средства) сервисы тоже могут переходить друг в друга. Компания Gartner [3] объявила о тренде 2024 на создание автономных агентов — это компьютеринг, который достигает целей без вмешательства человека; национальных облачных сервисов, ориентированных на обслуживание национальных интересов граждан и компаний внутри каждой страны. Такой технологический подход позволит решать следующие проблемы: 1) Независимость от глобальных облачных сервисов ведущих компаний планеты. 2) Сохранение устойчивости предлагаемых сервисов за счёт создания национальной службы безопасности. 3) Всегда иметь актуальную современную аппаратуру и новейшие программные приложения за минимальную арендную плату или бесплатно. 4) Доступ автономного транспортного средства к облачным сервисам обеспечивается за счёт национальной 6G-инфраструктуры страны, что особенно важно в период существующей нестабильности в мире. 5) Главное – локальная облачная инфраструктура обеспечивает стабильность развития транспорта, индустрии, общества и государства (рис. 2).

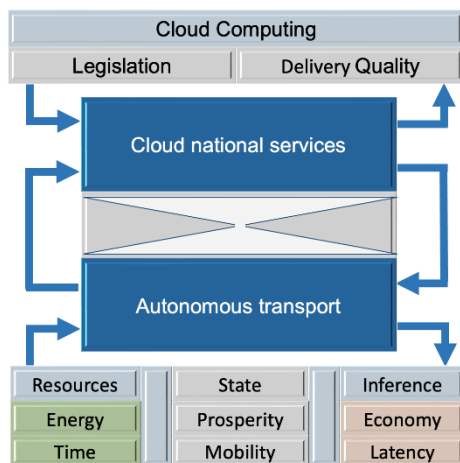


Рис. 2. Национальный облачный компьютеринг автономного транспорта

Логический вектор [1,4] используется для формирования модели инфраструктуры и алгоритма её обработки с помощью read-write транзакций без инструкций процессора. Логический вектор является инвариантной моделью для адекватного описания как функции, так и структур. Процесс оцифровывания дорожной инфраструктуры используют унитарное кодирование паттернов на основе синтезированного универсума примитивов. Примитивами могут выступать сегменты дорожной инфраструктуры или фрагменты процессов выполнения маршрута. Расширение логического вектора адресами таблицы истинности создает механизмы для решения комбинаторных задач планирования маршрута алгоритмами линейной вычислительной сложности. В пределе можно получить алгоритмы, использующие low code/no code [5] за счёт экспоненциальной избыточности умных моделей (рис. 3). При этом одновременно решаются задачи нахождения всех уникальных путей и маршрутов [6], которые являются сходными по временным и энергетическим затратам. Для выбора оптимального маршрута и средств его прохождения используется следующая метрика универсума (энергия – материя – пространство – время): $U = \{E, M, S, T\}$ [4]. При этом получаемый бонус маршрута всегда находится в отношении дополнения со средствами для достижения конечного пункта заказанного пути. Например, если необходимо выиграть время и энергию, следует использовать пространство и материю (например, бензин) в качестве средств для достижения цели.

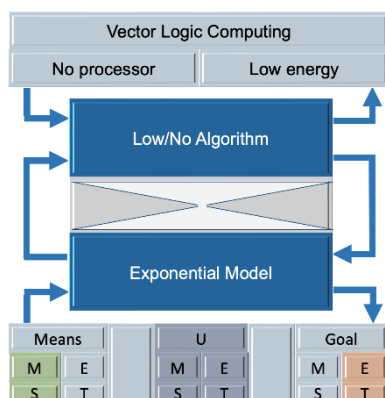


Рис. 3. In-memory векторно-логический компьютеринг

Преимущества логического вектора для мониторинга и управления транспортом заключается в следующем: 1) Не требуется синтез вектора (модели) в разрешенную систему элементов SoC. 2) Не требуются инструкции процессора для выполнения алгоритма обработки структур данных. 3) Не требуются сложные алгоритмы моделирования, тестиро-

вания и диагностирования системы управления транспортным средством. 4) Эти все задачи решаются на основе безалгоритмического построения карты тестирования [1] экспоненциально избыточной векторно-логической модели. При этом используется технология промпт-инжиниринга [7] (рис. 4), который позволяет решать все задачи технической диагностики на основе задания логического вектора функциональности. Важно подчеркнуть, что экспоненциальная избыточность векторно-логической модели функциональности избавляет пользователя от написания кода алгоритма анализа структур данных. Можно сделать такой локальный вывод, что методы минимизации направлены на создание сложных алгоритмов анализа структур данных. Нужно уходить от парадигмы минимизации моделей и приходить тренду low code/no code для алгоритмов [5,8], что существенно (на порядок) может уменьшить задержку (latency) формирования актуаторного сигнала для автономного транспортного средства. Такой тренд сегодня популярен в кругах учёных и инженеров, занимающихся интеллектуальным компьютерингом.

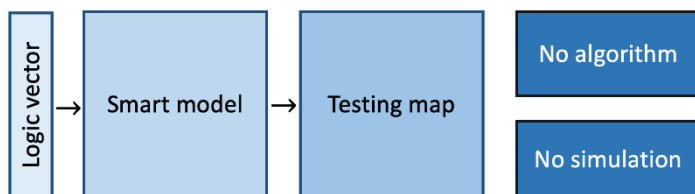


Рис. 4. In-memory векторно логический промпт-компьютинг

Заключение

Представлены новые механизмы in-memory компьютеринга на основе использования векторно-логических моделей для мониторинга и управления автономными транспортными средствами в инфраструктуре национальных облачных сервисов. Механизмы ориентированы на энергосбережение и уменьшение времени формирования актуаторных сигналов для автономных транспортных средств, что является сегодня актуальной практической задачей на рынке транспорта и IT-индустрии. Векторно-логические механизмы позволяют решать задачи управления на основе мониторинга окружающей среды, а также инженерно просто решать задачи верификации функциональностей, входящих в состав локальной SoC на транспортном средстве. Исследование ориентировано на использование национальной облачной 6G-инфраструктуры, которая позволит автоматизировать процесс доставки грузов заказчикам авто-

номным транспортом за минимальное время в режиме энергосбережения. Векторно-логические механизмы хорошо сочетаются с artificial Intelligence моделями, а также с кубитными структурами данных детерминированного квантового компьютеринга. In-memory компьютеринг на основе экспоненциально избыточных структур данных может стать массовым экономичным механизмом обработки больших данных по месту их хранения. Это особенно важно для автономного транспорта, где каждая машина в сутки генерирует 4 ТБ данных, необходимых для обработки и выполнения маршрута в автономном беспилотном режиме.

1. **V. Hahanov, W. Gharibi, S. Chumachenko, E. Litvinova**, "Vector synthesis of fault testing map for logic," *IAES International Journal of Robotics and Automation (IJRA)*, Vol. 13, No. 3, September 2024, pp. 293-306 DOI: 10.11591/ijra.v13i3, pp293-306.
2. *Intelligent Computing: The Latest Advances, Challenges, and Future.* **Shiqiang Zhu, Ting Yu, Tao Xu, Hongyang Chen, Schahram Dustdar, Sylvain Gigan, Deniz Gunduz, Ekram Hossain, Yaochu Jin, Feng Lin, Bo Liu, Zhiguo Wan, Ji Zhang, Zhifeng Zhao, Wentao Zhu, Zuoning Chen, Tariq S. Durrani, Huaimin Wang, Jiangxing Wu, Tongyi Zhang, Yunhe Pan** DOI: 10.34133/icomputing.0006
3. <https://www.gartner.com/en/articles/hype-cycle-for-emerging-technologies>
4. **Vladimir Hahanov**. *Cyber-Physical Computing for IoT-driven Services*, New York: Springer, 2018. 279p.
5. **E. Akleman**, "Computing Through Time: Metaverse" in *Computer*, vol. 58, no. 03, pp. 8-8, March 2025, doi: 10.1109/MC.2024.3522799.
6. **Hahanov V.** Cloud-Driven Traffic Monitoring and Control Based on Smart Virtual Infrastructure [Text] / **V. Hahanov, Wajeb Gharibi, E. Litvinova, S. Chumachenko, A. Ziarmad, I. Englesi, I. Gritsuk, V. Volkov, A. Khakhanova** // *SAE Technical Paper. USA. 2017-01-0092*, 2017. 6 p. doi:10.4271/2017-01-0092.
7. **Adel, A.** The Convergence of Intelligent Tutoring, Robotics, and IoT in Smart Education for the Transition from Industry 4.0 to 5.0. *Smart Cities* 2024, 7, 325-369. <https://doi.org/10.3390/smartcities7010014>
8. "IEEE Guide for Architectural Framework and Application of Federated Machine Learning," in *IEEE Std 3652.1-2020*, vol., no, pp.1-69, 19 March 2021, doi: 10.1109/IEEESTD.2021.9382202.

М.Т. Алероев, У.О. Менькина, А.Г. Таташев, М.В. Яшина

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ С ПАМЯТЬЮ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ

*Московский автомобильно-дорожный государственный технический
университет (МАДИ), г. Москва*

Введение

Характерной особенностью современного дорожного строительства является улучшение качества, безопасности, прочности автомобильных дорог, в том числе из-за постоянного увеличения интенсивности транспортных потоков и значительного роста нагрузок на дороги. Наибольший вклад в прочность и долговечность асфальтобетона вносит связующее минеральных заполнителей на основе битума. В настоящей работе изложен ускоренный метод испытания битумного вяжущего, обеспечивающее получение необходимой информации о качестве материала. Полученная информация может использоваться для принятия оптимальных управленческих решений. Излагаемый подход предполагает использование математических методов, основанных на применении дробной производной, регрессионного и многофакторного анализа.

Основная часть

Область математического анализа, называемая дробным исчислением и посвященная исследованию и применению производных и интегралов дробного (вещественного или комплексного) порядка, имеет давнюю историю и богатое содержание. Вопросы дробного исчисления имеют глубокую взаимосвязь с самыми разнообразными разделами математики: теорией функций, интегральных и дифференциальных уравнений и др.

Развитие, исследование и применение производных и интегралов произвольного порядка, обусловлено широким ее применением в задачах физики, химии, биологии, теории управления, механики, в том числе в теории упругости.

Несмотря на вышесказанное, дробное исчисление можно рассматривать как "новую" область науки, и только за последние 40 лет оно стало предметом специализированных международных конференций. Первая международная конференция по дробному исчислению была проведена в 1974 году в Нью-Хавене. Организатором этой конференции и составителем сборника докладов конференции был Б.Росс. Вторая конференция

была проведена в 1984 году в Глазго (Англия). Организаторами и составителями сборника докладов второй конференций были А. Макбрайд (А.С.МcBride) и С. Рауч (С.Ф.Роach).

Первой монографией по дробному исчислению была изданная в 1974 году книга К.Олдхема и Дж.Спаниера [93]. На сегодняшний день издано много книг по дробному исчислению, однако из них своей монументальностью выделяется монография С.Г. Самко, А.А. Маричева и О.И. Маричева [1].

Определение Римана - Лиувилля: Пусть функция $f(x)$ определена на полуоткрытом интервале $(a, b]$, и $\alpha > 0$. Тогда дробный интеграл порядка α от функции $f(x)$, в точке $x \in (a, b]$, определяется следующей формулой

$$D_x^{-\alpha} f(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_a^x (x - \tau)^{\alpha-1} f(\tau) d\tau, \quad (1.4)$$

где $\Gamma(\alpha)$ - гамма-функция Эйлера.

Например, производная порядка $\alpha = \frac{1}{2}$ вычисляется по формуле

$$D^{\frac{1}{2}} f(x) = \frac{d}{dx} \left[\frac{1}{\Gamma\left(\frac{1}{2}\right)} \int_a^x \frac{f(\tau) d\tau}{(x - \tau)^{\frac{1}{2}}} \right] \quad (1.6)$$

При построении модели вязкоупругого тела, а также при исследовании модели движения осциллятора с вязкоупругим демпфированием, будет в основном использоваться именно определение Капуто.

Определение Капуто: пусть функция $f(x)$ определена на полуоткрытом интервале $(a, b]$, и пусть $0 \leq m - 1 < \alpha \leq m$, $m = 1, 2, \dots$, тогда дробная производная порядка α от функции $f(x)$, в точке $x \in (a, b]$, определяется следующей формулой

$$D_*^\alpha f(x) = \frac{1}{\Gamma(m - \alpha)} \int_a^x \frac{f^{(m)}(\tau) d\tau}{(x - \tau)^{\alpha+1-m}}. \quad (1.13)$$

В физике, механике, биологии и других областях часто встречаются среды

и системы, которые хорошо интерпретируются как фракталы. Примерами фракталов (или фрактальных сред) могут служить пористые среды и дробное броуновское движение. Фрактальные структуры являются следствием многих процессов и явлений, например, таких как диффузия, агрегирование, разрушение, перколяция, динамический хаос, растворение и др.[2, 3]. В работах [4, 5, 6] рассматривается применение теории фракталов в моделировании биологических систем и фильтрации нефти и газа в пластах. Отмечено, что пористые вещества ведут себя как системы с фрактальной структурой. Масштабы самоподобия

такой системы составляют диапазон значений от 10 ангстрем до 100 микрон [5, 7]. При этом нефтяные и газовые коллекторы содержат трещины и разломы на различных масштабных уровнях, которые могут развиваться в процессе разработки месторождения. Отсутствие учёта подобных процессов в классической теории фильтрации может привести к серьёзным ошибкам в расчётах продуктивности скважин.

Процессы фильтрации и течения жидкости в пористой среде [8] также описываются при помощи математических моделей в виде дифференциальных уравнений дробного порядка.

Важнейшим приложением теории фракталов к механике являются дифференциальные операторы дробного (фрактального) порядка в линейной теории вязкоупругости [9, 10], исследование которых и является основной целью работы. Замена в соотношении между напряжением и деформацией целых производных их дробными аналогами позволяет значительно сократить количество идентифицируемых параметров модели изучаемого материала [11]. Исследования переходных волновых процессов в вязкоупругих телах играют важную роль при оценке прочности и надёжности различных технических сооружений. Материалы с такими свойствами находят широкое применение в машиностроении, авиационной промышленности, строительстве, геофизике и сейсмологии. Наличие инвариантности по времени и масштабу приводит к необходимости использования реологических моделей, при описании которых применяются дробные производные

Основателем применения дробного исчисления в вязкоупругости, как отмечено в [11, 12], был П. Дж. Наттинг (P.G.Nutting), который в 1921 году наблюдал, что соотношение между напряжением и деформацией для многих сложных материалов описывается уравнением:

$$\sigma(t) = c_0 \gamma t^{-k}, \quad (2.10)$$

где $0 < k < 1$ [13]. При постоянной деформации из соотношения (2.10) получается обратный степенной закон релаксации.

В 1936 году А. Джемант (A. Gemant) и в 1946 году Босворт (Bosworth) на основе анализа экспериментальных результатов для вязкоупругих тел дали определение пластичности, содержащее идею "дробной производной" [13]. Они дали определение вязкоупругого тела, не являющегося ни упругим телом Гука, ни жидкостью Ньютона.

Для вязкой жидкости справедлив закон Ньютона:

$$\sigma(t) = \eta \frac{d\varepsilon(t)}{dt}, \quad \eta - const,$$

а для упругого тела – закон Гука:

$$\sigma(t) = E\varepsilon(t), \quad E - const,$$

поэтому можно предположить, что для тела промежуточного между жидкостью и упругим телом, будет справедливо соотношение, включающее дробную производную

$$\sigma(t) = \chi_1 \frac{d^\mu \varepsilon(t)}{dt^\mu} \quad (2.11)$$

Д. У. Скотт-Блэр (G. W. Scott-Blair), применив производные дробного порядка по времени, объединил наблюдения Наттинга и Джеманта в одной модели [100]. М. Капуто высказал идею применения производных дробного порядка в модели вязкоупругого поведения геологических пластов, а затем вместе с Ф. Маинарди показал, что определяющие соотношения, использующие дробные производные, описывают механические свойства некоторых металлов и стекловидных тел.

Битумное вяжущее, не имеет характерной температуры размягчения и температуры хрупкости. Его вязкость увеличивается с уменьшением температуры и уменьшается с увеличением температуры.

Вязкость жидкости — это её способность оказывать сопротивление перемещению одних частиц относительно других, то есть противостоять касательным усилиям в потоке.

Вязкость – способность тела оказывать сопротивление относительно смещению его слоев.

Вязкость можно представить как внутреннее трение между отдельными слоями жидкости при их смещении относительно друг друга.

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \left[\frac{\text{Н/м}^2}{\text{с}^{-1}} = \text{Па} \cdot \text{с} \right]$$

Величина вязкости может зависеть минимум от 6 независимых параметров:

$$\eta = f(S, T, P, \dot{\gamma}, t, V)$$

Параметр **S** – физико-химическая природа вещества

Параметр **T** – температура вещества

Параметр **P** – давление вещества

Параметр $\dot{\gamma}$ – скорость сдвига

Параметр **t** – время или сдвиговая предыстория

Параметр **V** – электрическое напряжение

Вязкость материала может определяться различными способами. Выделяют несколько способов определения вязкости материала, но в основном используют два способа: кинематическая вязкость и динамическая вязкость.

Кинематическая вязкость нефтепродуктов может определяться методом падающего шарика, если продукт является прозрачным.

Для непрозрачных сред используют метод условной вязкости: фиксируют время прохождения жидкости от одной отметки до другой (как например делают для битумных эмульсий). Данный метод также могут применять для битумных вяжущих, но метод достаточно трудоемкий.

Третий способ определения вязкости – это динамическая вязкость материала. Динамическую вязкость определяют на ротационном вискозиметре, данный метод является простым. Обычно используют систему цилиндр – цилиндр различного диаметра и при различных температурах.

Метод заключается в измерении скорости сдвига тонкого слоя битума, заключенного между двумя соосными цилиндрами, один из которых закреплен неподвижно, а второй вращается под действием приложенного к нему постоянного момента.

Переход от кинематической вязкости к динамической осуществляется через формулу:

$$\vartheta = \frac{\mu}{\rho} \left[\frac{\text{м}^2}{\text{с}} \right] = [10^4 \text{Ст}]$$

Динамическую вязкость также называют коэффициентом внутреннего трения материала.

$$\mu = \frac{F \cdot l}{S \cdot v} \quad [\text{Па} \cdot \text{с}] = [10 \text{Пз}] = [10^3 \text{сПз}]$$

F – сила сопротивления сдвигу, Н

l – расстояние, l = 1 м

S – площадь поверхности, S = 1 м²

v – скорость, v = 1 м/с

$$1 \text{ Пз} = 0,1 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}^2} = 0,1 \text{Па} \cdot \text{с}$$

Вязкость битумов зависит от температуры и скорости приложения нагрузки (скорости испытания).

Показатель глубины проникания иглы характеризует условную вязкость битумов.

Определение глубины проникания иглы:

$\tau = \text{const}$ (100 г или 200 г);

$dt = \text{const}$ (5с или 60 с);

$t^\circ = \text{const}$ (25° или 0°)

Вязкость обратна глубине проникания иглы.

Вязкость и, следовательно, глубина проникания иглы в битум в очень большой мере зависят от изменения температуры. Поэтому эти показатели следует определять, точно выдерживая ту температуру, при которой требуется провести испытание.

В зависимости от температуры битумное вяжущее может принимать свойства твердых тел, свойства упруго-вязких тел и свойства жидкостей.

Большей частью нас интересует работа материала в интервале пластичности: материал перестает быть хрупким и менее податлив ударным нагрузкам, но еще недостаточно текучий, чтобы подвергаться пластическим деформациям. С точки зрения работы с битумом и дальнейшей эксплуатацией асфальтобетона нас интересуют интервал пластичности и когда битум ведет себя как жидкость.

При статистической обработке экспериментальных данных преследуются две задачи. Во-первых, необходимо оценить однородность внутри каждой серии параллельных экспериментов по всем оцениваемым параметрам, выявление случайных значений показателей с учетом заданной вероятности, и при необходимости - повторить серию испытаний, если результаты не отвечают требуемой точности измерений. Такое решение принимается после установления причин разброса и, как правило, ими являлись систематические отклонения от принятой методики проведения эксперимента или неисправность прибора или оборудования.

Во-вторых, с использованием корреляционного и регрессионного анализа осуществляется построение и статистический анализ многофакторных регрессионных моделей.

Формулы стандартных регрессий, учтенные в программном обеспечении, приведены в таблице 12. Окончательным решением регрессионной задачи является набор всех статистически и физически оправданных вариантов расчетов после оценки их точности, и адекватности по 70 статистическим параметрам.

Таблица 1

Название регрессионной модели	Математическое выражение в общем виде
Линейная	$Y = b_0 + \sum_1^n b_i \cdot X_i$
Степенная	$Y = e^{b_0} \cdot \prod_1^n \prod X_i^{b_i}$
Кинетическая	$Y = e^{b_0} \cdot \prod_1^n e^{b_i X_i} \prod_1^n X_i^{b_{(i+1)}}$
"Полная" линейная	$Y = b_0 + \sum_1^n b_i X_i + \sum_1^n \sum_1^m g_{ik} \cdot X_i \cdot X_k$
"Чистый" полином второй степени	$Y = b_i + \sum_1^n b_i \cdot X_i + \sum_1^n p_i \cdot X_i^2$
"Полный" полином второй	$Y = b_i + \sum_1^n b_i \cdot X_i + \sum_1^n p_i \cdot X_i^2 + \sum \sum g_{ik} \cdot X_i \cdot X_k$

Название регрессионной модели	Математическое выражение в общем виде
степени	
"Чистый" полином третьей степени	$Y = b_i + \sum_1^n b_i \cdot X_i + \sum_1^n p_i \cdot X_i^2 + \sum k_i \cdot X_i^3$
Гиперболическая	$Y = \frac{1}{b_0 + \sum_1^n b_i \cdot X_i}$
Смешанная	$Y = b_0 + \sum \frac{d_i}{X_i} + \sum p_i \cdot \sqrt{X_i}$
Экспонента	$Y = e^{b_0} \cdot \prod_1^n e^{b_i X_i}$
Логарифмическая	$Y = b_0 + \sum (b_i \cdot \ln X_i)$

Для отработки методики работы прибора Термоскан был разработан трехфакторный эксперимент.

В качестве факторов выступали:

- Время термостатирования при положительной температуре
- Время термостатирования при нижней температуре
- Положительная температура.

Таблица 2

Матрица планирования эксперимента

Матрица планирования										
в натуральном выражении										
x0	x1	x2	x3	x1x2	x1x3	x2x3	x1x2x3	нагрев, сек	холод, сек	температура н
1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	30	30	70
2	1	1	-1	-1	-1	-1	1	300	30	70
3	1	-1	1	-1	-1	1	-1	30	300	70
4	1	1	1	-1	1	-1	-1	300	300	70
5	1	1	-1	1	-1	1	-1	300	30	80
6	1	-1	-1	1	1	-1	1	30	30	80
7	1	-1	1	1	-1	-1	1	30	300	80
8	1	1	1	1	1	1	1	300	300	80
9	0	0	0	0	0	0	0	150	150	75
10	1	-1	0	0	0	0	0	30	150	75
11	1	1	0	0	0	0	0	300	150	75
12	1	0	-1	0	0	0	0	150	30	75
13	1	0	1	0	0	0	0	150	300	75
14	1	0	0	-1	0	0	0	150	150	70
15	1	0	0	1	0	0	0	150	150	80

Было запланировано 15 испытаний. В качестве выбора оптимального режима работы термоскана были использованы следующие факторы:

- Полнота заполнения формы для образцов
- Минимальное время проведения испытания.

Испытания проводились на битумном вяжущем ПБВ 60.

Заключение

В результате испытаний было установлено, что при минимальном режиме термостатирования 30 сек битумное вяжущее не успевало равномерно заполнить форму и таким образом режимы 1,3,6,7,10 не удовлетворяют нас по первому условию оценивания образцов.

При температуре испытаний 70 С битумное вяжущее не успевало заполнить равномерно всю форму и таким образом режимы 1,2,3,4,14 также нас не удовлетворяют.

Режимы 5,8,9,11,12,13 и 15 удовлетворяют по диаметру расплыва. Проверяем по 2 фактору.

Режимы 5,8,11 и 13 имеют длительность более 300 сек.

Режим 12 имеет слишком малую длительность охлаждения, образец не успевает остыть за такое количество времени.

Методология базируется на принципах системного изучения структуры и свойств битумных вяжущих. Физические, механические и химические свойства битумных вяжущих определялись с применением стандартных методов исследования, используя также оригинальные методы исследований, такие как Термоскан и хемометрика. Все характеристики изучались с применением экспериментальной базы Московского автомобильно-дорожного университета МАДИ на базе кафедры «Дорожно-строительные материалы и химические технологии».

1. **Самко С.Г., Килбас А.А., Маричев О.И.** Интегралы и производные дробного порядка и некоторые их приложения. Минск, изд - во "Наука и техника", 1987, 688 стр.
2. **Головизнин В.М, Киселев В.П. , Короткин И.А., Юрков Ю.И.** Некоторые особенности вычислительных алгоритмов для уравнений дробной диффузии. Препринт № ИБРАЭ - 2001-14. Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, 2002. 26 с.
3. **Нахушев А.М.** Дробное исчисление и его применение. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 272 с.
4. **Летников А.В., Черных В.А.** Основы дробного исчисления. М: НЕФТЕГАЗ, 2011. 429 с.
5. **Черных В.А.** Математические концепции гидрогеомеханики. М: РУДН, 2013. 447 с.
6. **Aleroev T.S., Aleroeva H.T., Huang J.F., Nie N.M., Tang Y.F. & Zhang S.Y.** Features of Inflow of a Liquid to a Chink in the Cracked Deformable Layer, IJMSSC, 1(3), 333-347 (2010).
7. **Katz A.J., Thompson A.H.** Fractal sandstone pores: implications for conductivity and pore formation // Phys.Rev.Lett. 1985. Vol. 54. Pp. 1325–1328.

8. **Шредер М.** Фракталы, хаос, степенные законы. Миниатюры из бесконечного рая. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. 528 с.
9. **Сургуладзе Т.А.** О некоторых применениях операторов дробного порядка в вязкоупругости. Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. М., 2002. – 174 с.
10. **Kilbas A.A., Srivastava H.M., Trujillo J.J.** Theory and applications of fractional differential equations. Amsterdam: Elsevier, 2006. 523 pp.
11. **Бэгли Р.Л., Торвик П. Дж.** Дифференциальное исчисление, основанное на производных дробного порядка – новый подход к расчету конструкций с вязкоупругим демпфированием. Аэрокосмическая техника т.2 №2, 1984. – с. 84-91.
12. **Bagley R.L., Torvik P.J.** A thoretical basis for the application of fractional calculus to viscoelasticity. J. Rheolog., v. 27, №3, 1983, 201 – 203 pp.
13. **Nonnenmacher T.F.** Fractional integral and differential equations for a class of Levy-type probablity densities. J. Phys.A:Math.Gen. 1990,v.23, 697-700 pp.
14. **Aleroev, M.T., Yashina, M.V.** Methods for Optimizing the Deformation-Strength Characteristics of Polymer Concrete. In 2023 Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex (TIRVED) (2023). (pp. 1-4). IEEE.
15. **Marina V. Yashina, Mukhamed T. Aleroev.** On problem of properties optimizing for viscoelastic materials using the Begly-Torvik equation // TComm: Telecommunications and transport, vol. 8, pp.63-65 (2023).

**Ю.Э. Васильев¹, В.М. Приходько²,
М.М. Никитаев³, Г.Ш. Малазони⁴**

УЧЕТ СЕЗОННОСТИ ПОСТАВОК МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ

*^{1,2}Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), г. Москва,
¹yu.vasilev@madi.ru, ²v.prikhodko@madi.ru,
^{3,4}Автомобильные дороги, г. Москва,
³mn@inbox.ru , ⁴geo.rnd1749@gmail.com*

Введение

Модели планирования поставок материалов при производстве асфальтобетонных смесей должны быть ориентированы на особенности

производства и обеспечивать расчет наилучшего с точки зрения финансовых затрат объема запасов материалов и составления плана закупок на основе прогноза спроса на продукцию. В настоящее время существует множество моделей управления запасами [1-5]. К наиболее распространенным можно отнести модель ABC, модель XYZ, модель Уилсона, модель Just-in-Time и другие. Однако наличие переменного спроса на продукцию требует их модификации с целью придания им свойств адаптивности к происходящим изменениям и рассмотрения дополнительных факторов, оказывающих влияние на оптимальный размер запаса. Использование таких моделей в контуре автоматизированных систем управления предприятием обеспечивает наилучшие характеристики функционирования АБЗ.

Основная часть

При производстве асфальтобетонных смесей необходимо учитывать сезонность $s(t)$, так как объемы заказов, а, следовательно, и объемы поставляемых материалов, сильно разнятся в зимний и летний периоды.

Модель учета сезонности поставок материалов позволяет скорректировать объемы поставляемых материалов в зимний и летний периоды, что приводит к дополнительному снижению ожидаемых средних потерь. При этом каждому периоду наблюдения соответствует свой сезонный цикл и свои объемы поставок материалов:

$$q_l^{(k)}(t) = \alpha^{|k-l|} q_j(t + (k-1)T), l = 1, \dots, K. \quad (1)$$

где $\alpha^{|k-l|}$ - весовой коэффициент из диапазона $0 \leq \alpha \leq 1$, при $k = 1, \alpha^0 = 1$.

Для определения динамического сезонного цикла выделим на интервале наблюдения K целых периодов длительностью T (без потери общности далее положим, что весь интервал наблюдения состоит из K целых периодов). Вес коэффициента уменьшается при удалении l -го периода от рассматриваемого k -го периода. Тогда при оценке тренда на k -м периоде учитывается сезонная составляющая $o_k(t)$:

$$x_l^{(k)}(t) = \alpha^{|k-l|} (q_l(t) - o_k(t)). \quad (2)$$

Значение $o_k(t)$ определяется исходя из условия достижения минимума функционала при условии непрерывного времени:

$$F_k(x^{(k)}) = \int_0^T \left\{ \sum_{l=1}^K \alpha^{|k-l|} [\dot{q}_l(t) - \dot{o}_k(t)] \right\}^2 dt \rightarrow \min, \quad (3)$$

где

$$x^{(k)}(t) = \sum_{l=1}^K \alpha^{|k-l|} [q_l(t) - o_k(t)] = \sum x_l^{(k)}(t). \quad (4)$$

Так как цикличность существует $o_k(0) = o_k(T)$ и присутствует периодичность циклов, то $\int_0^T o_k(t) dt = 0$, и задача поиска минимального значения функционала (3) может быть сведена к вариационной задаче с лагранжианом [9]:

$$G_k = \left\{ \sum_{l=1}^K \alpha^{|k-l|} [\dot{q}_l(t) - \dot{o}_k(t)] \right\}^2 \quad (5)$$

Где значение $\dot{o}_k(t)$ может быть определено из решения уравнения Эйлера [9]:

$$\ddot{o}_k(t) \sum_{l=1}^K \alpha^{|k-l|} - \sum_{l=1}^K \alpha^{|k-l|} \ddot{q}_l(t) = 0, \text{ при } t \in [0, T]. \quad (6)$$

А значение весового коэффициента α^k определяется исходя из условия достижения минимума функционала:

$$F_k(x^{(k)}(t, \alpha_k)) \xrightarrow{0 \leq \alpha \leq 1} \min. \quad (7)$$

В случае дискретного времени функционал принимает вид:

$$F^{(k)}(x_n) = \sum_{n=1}^T \sum_{l=1}^K [\alpha^{|k-l|} (q_{T(l-1)+n} - q_{T(l-1+n-1)}) - (o_n^{(k)} - o_{n-1}^{(k)})]^2 \quad (8)$$

На всех периодах $n = 1, \dots, T$ экстремум данного функционала $\Phi^{(k)}(x_n)$ определяется как:

$$\frac{dF^{(k)}}{ds_n^{(k)}} = 0, \quad (9)$$

А сезонный цикл на k -м периоде определяется как средневзвешенное значение вторых разностей исходного ряда:

$$\Delta^2 o_n^{(k)} = \frac{1-\alpha}{1+\alpha-\alpha^{K-k+1}-\alpha^k} \sum_{l=1}^K \alpha^{|k-l|} \Delta^2 q_{T(l-1)+n}, \quad (10)$$

где $\Delta^2 q_{T(l-1)+n} = \Delta q_{T(l-1)+n-1} - 2\Delta q_{T(l-1)+n} + \Delta q_{T(l-1)+n+1}$ - вторая центральная разность исходного ряда. А оптимальное значение коэффициента α , обеспечивающего наилучшую гладкость результирующего тренда, определяется при начальном значении $\alpha = 1$, исходя из условия достижения минимума функционала:

$$F(\alpha) = \sum_{k=1}^K \frac{1}{w_k^2(\alpha)} \sum_{n=1}^T [\Delta q_n^{(k)} - \Delta o_n^{(k)}(\alpha)]^2. \quad (11)$$

Интенсивность расхода инертных материалов: щебня, песка, органических вяжущих определяется объемами поступающих заказов, мак-

симальной производительностью смесительной установки и количеством того или иного материала в составе асфальтобетонной смеси.

Заключение

Рассмотренный комплекс моделей обеспечивает решение задач планирования поставок материалов на АБЗ. В реальной производственной ситуации возникает множество неопределенностей, случайных событий, которые требуют интеллектуального осмысления и обоснованного принятия решений с учетом большого количества факторов, часто описываемых лингвистическими переменными. То есть традиционного набора математических моделей и методов становится недостаточно и существует объективная необходимость использования систем поддержки принятия решений, основанных на знаниях, то есть переход к технологиям Индустрии 4.0. Использование таких систем обеспечивает цифровизацию всех процессов управления производством на АБЗ, позволяя сократить затраты, повысить качество продукции, обеспечить ритмичность производства.

В результате цифровой трансформации возможен мониторинг всех бизнес-процессов (научно обоснованной экономической политики) на предприятии, контроль работы оборудования, переход от планово-предупредительного технического обслуживания и ремонта к техническому обслуживанию и ремонту по состоянию, а не по событию. Появляется возможность моделирования всех бизнес-процессов и прогнозирования сценариев их развития, то есть создание цифрового двойника производства.

1. **Jaśkowski, P., Sobotka, A., Czarnigowska, A.,** 2018. Decision model for planning material supply channels in construction. *Automation in Construction*, 90, 235-242.
2. **Aiassi, R., Sajadi, S.M., Hadji-Molana, S.M., Zamani-Babgoharid, A.,** 2020. Designing a stochastic multi-objective simulation-based optimization model for sales and operations planning in built-to-order environment with uncertain distant outsourcing. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 104, 102–103.
3. **Kovalský, M., Mičičeta, B.,** 2017. Support Planning and Optimization of Intelligent Logistics Systems. *Procedia Engineering*, 192, 451-456.
4. **Dombi, M.,** 2019. The service-stock trap: analysis of the environmental impacts and productivity of the service sector in Hungary. *Environ. Res. Lett.*, 14 (6), 065011.

5. **Fikry, I, Gheith, M., Eltawil, A., 2021.** An integrated production-logistics-crop rotation planning model for sugar beet supply chains. Computers & Industrial Engineering, 157, 107300.

**И.В. Зырянов, А.Н. Мярин, К.Р. Нифонтов, П.Ф. Васильев,
Н.К. Ефимов, В.Г. Реев, В.М. Тимофеев**

ПРОЕКТ СОЗДАНИЯ ФЕДЕРАЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ «ТЕХНИКА НА ТЕРРИТОРИЯХ ЭКСТРЕМАЛЬНО ХОЛОДНОГО КЛИМАТА»

*Высший инженерный совет Республики Саха (Якутия), г. Якутск
ingener-sakha@mail.ru*

На совместном заседании комиссий Госсовета РФ по вопросу: «Комплексный подход к развитию Арктики: формирование национального проекта «Арктика и Северный морской путь» 26 марта 2025 года VI Международного арктического форума в Мурманске глава Якутии, председатель комиссии Госсовета РФ по направлению "Энергетика" Николаев А.С. особо отметил об аварийно-спасательных службах: « ... считайте от Певека практически до Ямала у нас сегодня спасательных служб, профессиональных, современных, со всем оборудованием нету. Вот мы должны были его построить в Тикси, до сих пор обсуждается возможность его проектирования и строительства в период где-то там ближе к 2030 году. А если завтра ... с каким-нибудь из ледоколов или судов ... что-то случится, как мы будем их спасать в условиях полярной ночи, в условиях наших сверхнизких температур ...» [1].

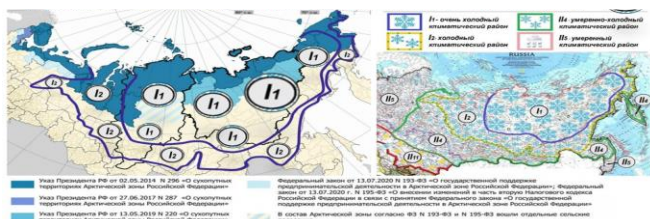


Рис. 1. Арктическая зона РФ и территории очень (экстремально) холодного климата («ЭХл» или «Пл») по ГОСТ 15150-69, ГОСТ 16350-80 и ГОСТ Р 50992-2019 «Автомобильные транспортные средства. Климатическая безопасность. Технические требования и методы испытаний».

Условия сверхнизких температур типичны, в различной степени, только территориям экстремально холодного климата, занимающих более 26% площади России в Дальневосточном и Сибирском федеральных округах, в основном в Республике Саха (Якутия), Красноярском крае, Магаданской области, Чукотке, а также в прилегающих к Якутии районах Иркутской и Амурской областей, Хабаровского и Забайкальского краев; и на севере «неприлегающей» Бурятии (рисунок 1).

Для системного решения этой проблематики актуально межотраслевое и межведомственное обсуждение практики и перспектив развития мероприятий по совершенствованию надежности и эффективности зимней эксплуатации всей техники и оборудования: - всех видов транспорта (экстренных служб медицины, МЧС, а также общего пользования, ветеринарии и МО); - энергетики; - связи; - ЖКХ; - строительства; - сельхозпроизводства и горнодобычи на территориях экстремально холодного климата, охватывающих почти всю Восточную Арктику, так как практика последних лет показывает, что специалистам этих территорий, в отличие коллег в условиях «обычного» холодного климата, на пример как на Ямале, значительно сложнее эффективно участвовать в госпрограммах развития предпринимательства, инноваций, науки и промышленности, а в значительном ряде случаев недоступно по конкурсным условиям этих программ.

С предлагаемым решением обсуждаемой проблематики Высший инженерный совет Республики Саха (Якутия) принял участие в V форуме «Сильные идеи для нового времени» с заявкой по теме «Новая жизнь старых технологий для дублирования критической инфраструктуры» направления «Национальная технологическая инициатива»: «Идея госпрограммы «Техника на территориях экстремально холодного климата» - драйвер развития арктических и северных регионов ДВФО и СФО».

По результатам экспертизы экспертов Агентства стратегических инициатив, заявитель идеи – ответственный секретарь Высшего инженерного совета Якутии Мярин А.Н. принял участие в работе пленарного заседания V форума «Сильные идеи для нового времени» 3 июля 2025 года в Москве с участием президента Путина В.В.

Идея заявки нацелена на обеспечение безопасности арктических границ, технологического суверенитета и стабильной работы не только горнодобывающих отраслей, но и на инновационное развитие традиционных и новых производств и промыслов местных жителей. И как следствие, последующего эффективного формирования целей для высокотехнологичного развития социальных, транспортных, энергетических и других жизнеобеспечивающих предприятий.

Современная ситуация требует комплексных мер для улучшения качества жизни, Северного завоза, темы логистики и экономической

эффективности в регионах с экстремально холодным климатом. В проекте мы учитываем опыт поколения наших родителей, которые пытались в Чите централизовать северные «доработки» всей техники отечественного автопрома. Поэтому предлагаем актуализировать в современных условиях, практику «нахождения» эффективного баланса между «взаимоисключающими» целями машиностроителей – «продать дороже», а северян «купить дешевле» для оптимизации всех эксплуатационных расходов, не только для автотранспортной техники, но и в целом для всех видов техники и оборудования эксплуатируемой в зимний период на наших территориях.

Для новой жизни старых технологий актуально возрождение некоторых элементов прежних схем их реализации. Из позднесоветской программы «Техника Севера» актуальны три следующих, но только в части экстремально холодных (ЭХл) климатических исполнений, создание которых только начиналось, а их производство было реализовано только, как опытные партии в незначительных объемах.

1) Обеспечение спроса на ЭХл технику и оборудование (энергетического и др.) с официальным допуском к эксплуатации с предельными температурами до - 70°C и рабочими до - 60°C, на основе создания системы по господдержке «северян» на её объективное удорожание, даже относительно создаваемой для условий «обычного» холода Хл (с предельными температурами эксплуатации до - 60°C и рабочими до - 50°C).

Этот спрос учитывает не только перспективную продукцию машиностроителей, но и «легимитизацию» местных доработок с его развитием в виде централизации тюнинга, в том числе в рамках действующих и новых территорий опережающего развития (ТОР) в комплексе с поддержкой доводочных и сертификационных испытаний.

Общий объём такой поддержки прогнозируется до 19,8 млрд.р. за 3-5 лет (по 2021г.).

2) Развитие инфраструктуры технических экспертиз, испытаний и сертификации ЭХл техники и оборудования с субсидированием участия «северян» в их проведении, начиная с адаптации к современным условиям практики экспериментально-производственных автохозяйств позднесоветского периода, не только по автомобильной технике, но и по другой технике, в первую очередь по энергетическому оборудованию.

Вместо «сверхфондовых» запчастей, особо актуальных в плановой экономике, для транспортных предприятий, участвующих в опытно-промышленной эксплуатации и поддержке доводочных испытаний, создать систему субсидирования за объективное повышение эксплуатационных и иных расходов при этих мероприятиях, включая технические экспертизы и сертификационные испытания. При этом учесть практику

опытно-промышленной эксплуатации в ряде северных регионов в 2010–2013 годах свыше 100 снегоболотоходов на базе автомобилей Урал, КамАЗ, ГАЗ при газотранспортных предприятиях ОАО «Газпром» [2-3].

Общий объём такой поддержки прогнозируется до 16,7 млрд.р.

3) Поддержку машиностроителей за создание и производство ЭХл климатических исполнений, начиная с адаптации к современным условиям практики создания в г. Чита централизованной северной «доработки» всей техники отечественного автопрома [3-4], не только по авто-транспорту, но и по другой технике, начиная с горнотранспортной, в рамках проекта создания реинжинирингового машиностроительного объединения в Амурской области для «централизации» мелкосерийного производства. А для повышения эффективности «предварительных» испытаний у разработчиков опытных образцов, в центральной части РФ, создать межотраслевую, специализированную ЭХл морозильную камеру при содействии Научно-технического комитета МО РФ, в том числе в развитие его сотрудничества с ГАУ РС(Я) «Технопарк «Якутия».

Общий объём такой поддержки прогнозируется до 13,7 млрд.р.

Полностью с заявкой можно познакомиться на крауд-платформе пятого форума «Сильные идеи для нового времени» (<https://xn--d1ach8g.xn--c1aenmdblfega.xn--p1ai/>).

По мнению экспертов АСИ, заявленный экономический эффект (оптимизация расходов свыше 105 млрд руб.) значителен и подкреплён предварительной оценкой бюджета программы (~52 млрд руб., в том числе 28,8 млрд рублей из федерального бюджета) и источников финансирования [5].

Отметим, что основой заявленной идеи является резолюция совместного заседания Комиссии по экологической безопасности и природопользованию Общественного совета при Министерстве РФ по развитию Дальнего Востока и Высшего инженерного совета Якутии 26 июля 2024 года на тему «Эксплуатация техники в экстремально холодных условиях», которая была поддержана VIII-й Всероссийской научно-практической конференцией Института региональной экономики Севера Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова «Устойчивый Север: общество, экономика, экология, политика» в рамках V-го Международного Северного Форума по устойчивому развитию по итогам Круглого стола в АГАТУ «Устойчивая интеграция науки и предпринимательства с промышленностью на территориях экстремально холодного климата» 26 сентября 2024 года [6].

Отличия климатических условий Якутии, как наиболее холодных в зимние месяцы из всех территорий экстремально холодного климата в сравнении с Ямалом и Сургутом представлены на рис. 2.

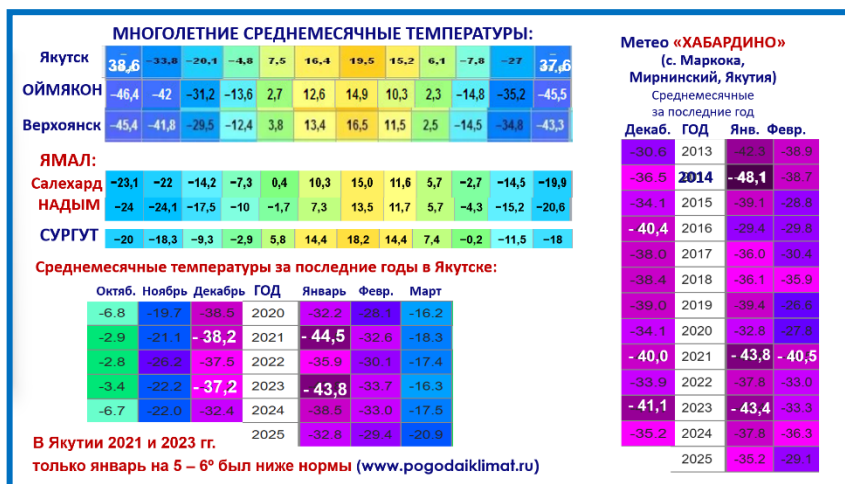


Рис. 2. Отличия климатических условий Якутии в зимние месяцы в сравнении с городами Ямала и Сургута

Известные примеры последствий обсуждаемых проблем на транспорте в начале 2023 года в Западной Якутии приведены на рис. 3., а по горнотранспортной технике на предприятиях АК «АЛРОСА» на рис. 4.

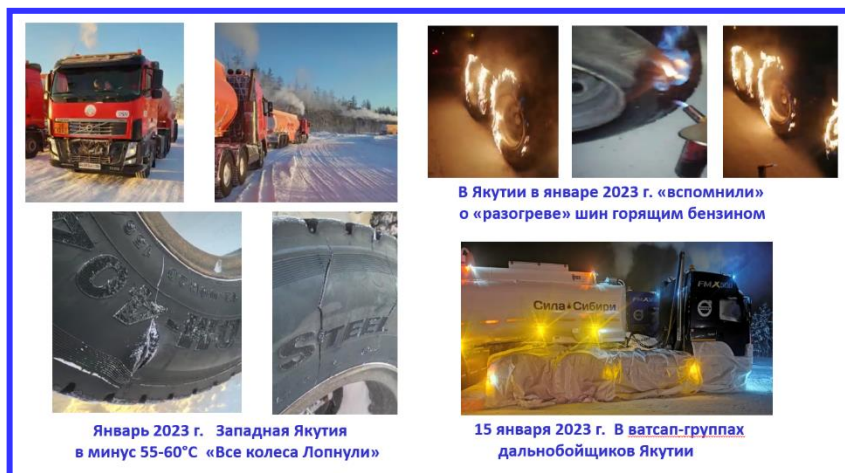


Рис. 3. Проблемы с шинами автотранспорта в январе 2023 года в Западной Якутии и их решения



Рис. 4. Элементы кузова автопоезда Scania после модернизации, с учетом зимних условий эксплуатации на предприятиях АК «АЛРОСА»

Аналогичные проблемы с колесными шинами повторились у Якутска в начале января 2025 года не только у грузового большегрузного автотранспорта в ожидании перегрузки на малотоннажные для перевозки в Якутск по ледовой переправе через р. Лена в период с 01 по 04 января с отклонениями минимальных суточных от нормы на 9,4-10,9° - до минус 49,6-49,8°С (Табл.1), но и у автомобиля скорой медицинской помощи «От мороза лопнуло колесо: сотрудники ГИБДД Якутии помогли водителю скорой помощи» (<https://www.yakutia.kp.ru/online/news/6167654>).

Таблица 1

Минимальные суточные температуры в Якутске в начале января 2025 года (www.pogodaiklimat.ru)

Дата	01	02	03	04	05	06	07
Минимум за сутки	- 49,6	-49,7	-49,8	-49,8	-43,2	-38,2	-36,8
Отклонение от нормы	-10,7	-10,9	-10,9	-9,4	-0,6	+1,5	+4,6

Примером результатов аналогичных проблем в сфере эксплуатации энергетического оборудования в условиях «ЭХл» является попытка проведения ННОУ ДПО «Учебно-производственный центр энергетики» ПАО «Якутскэнерго» натурных испытаний образцов средств коллек-

тивной защиты при работе под напряжением в электроустановках до 1000В в начале 2024 г. в климатических условиях Якутска (рис. 5.)



Рис. 5. Натурные испытания в Якутске образцов средств

коллективной защиты при работе под напряжением в электроустановках.

По результатам испытаний было заключение о том, что проверенные образцы средств коллективной защиты при работе под напряжением в электроустановках до 1000В на данном этапе не могут быть приняты для промышленного выпуска и использования в производственных целях даже в регионах с обычным холодным климатом, так как по ГОСТ IEC 60900—2019 «РАБОТА ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ. Ручные инструменты для работ под напряжением до 1000 В переменного и 1500 В постоянного тока. Общие требования и методы испытаний» для инструментов, предназначенных для использования при чрезвычайно низкой температуре по пунктам 4.2.2 и 5.4.1.4 «Испытания на ударную прочность при чрезвычайно низкой температуре» предусмотрены только при температуре минус $(40 \pm 3)^\circ\text{C}$., тогда как в период проверки инструментов в Якутске было до минус 45°C , а в Оймяконе и Верхоянске до минус 49°C .

То есть действующие нормативы «де юре» запрещают производство и эксплуатацию средств коллективной защиты при работе под напряжением в электроустановках до 1000В переменного и 1500 В постоянного тока на территориях «ЭХл» в зимние месяцы, когда высока вероятность аварийно-спасательных работ.

В заключении, предлагаем Организаторам и участникам XVIII-й Всероссийской мультikonференции по проблемам управления (МКПУ–2025) поддержать создание госпрограммы «Техника на территориях экстремально холодного климата», в первую очередь с содействия реализации третьего раздела резолюции совместного заседания 26 июля 2024 года Комиссии по экологической безопасности и природопользованию Общественного совета при Минвостокразвития РФ и Высшего инженерного совета РС(Я) в части рекомендаций:

- Обратиться в Министерство экономического развития Российской Федерации для организации совместной разработки межотраслевых межведомственных механизмов:

3.1. субсидирования инфраструктурных (транспорт, энергетика, связь и др.), сельскохозяйственных и промышленных организаций по приобретению техники «климатического исполнения «ЭХл»;

3.2. поддержки сотрудничества производственных и инфраструктурных предприятий с предпринимателями, научно-образовательными организациями, организациями Министерств обороны и МЧС в создании техники «климатического исполнения «ЭХл» (в первую очередь транспорта неотложной медицинской и ветеринарной помощи);

3.3. преференций для опытно-промышленной эксплуатации техники «климатического исполнения «ЭХл», аналогичных «эксперимен-

тельно-производственным автохозяйствам» по госпрограммам «Техника Севера» и современным «экспериментально правовому режиму», брутто-контрактной системе (при автобусных пассажирских перевозках), начиная с «пилотного» этапа только в зимний период.

1. **Трансляция** совместного заседания комиссий Госсовета Российской Федерации по вопросу: **«Комплексный подход к развитию Арктики: формирование национального проекта «Арктика и Северный морской путь» VI Международного арктического форума, Мурманск** // <https://forumarctica.ru/programme/business-programme/index.php?day> (1 ч. 36 м.42 сек.), 26 марта 2025 г. (**сайт Международного арктического форума «Арктика – территория диалога»**), - с 51 м. 20 сек. до 1 ч. 01 м. 00 сек.
2. **Бахмутов С.В., Плиев И.А., Сологуб С.А., Мярин А.Н.** О создании вездеходных транспортных средств для Республики Саха (Якутия) // Наука и технологии в Якутии. – 2014. – № 1 (26). – С. 18–21.
3. **Мярин А.Н.** Возрождение климатических испытаний модификаций автотранспорта для Севера и Арктики и снегоболотоходов в Якутии // Журнал автомобильных инженеров. – 2016. – № 1 (96). – С. 48–53.
4. **Егорова Т.П., Миронов В.С., Мярин А.Н., Неустроев А.Н.** Социально-экономические проблемы развития технических нормативов и инфраструктуры испытаний колесного транспорта для северных регионов Таможенного Союза // Безопасность колёсных транспортных средств в условиях эксплуатации: сб. ст. 106-й Междунар. науч.-техн. конф. – Иркутск: Иркутский нац. исслед. техн. ун-т, 2019. – С. 596–603.
5. **Зырянов И.В., Кугаевский А.А., Миронов В.С., Мярин А.Н., Нифонтов К.Р.,** Актуальность создания государственной программы «Наука и инженерия экстремально холодных территорий Российской Федерации» // Наука и инновационные разработки – Северу: сб. тр. III Междунар. науч.-практ. конф. – Мирный, Республика Саха (Якутия): «Спутник+», 2024. – С. 87–91, 618.
6. **Резолюция VIII Всероссийской научно-практической конференции «Устойчивый Север: общество, экономика, экология, политика - 2024»** в рамках V-го Международного Северного Форума по устойчивому развитию, Якутск // <https://www.svfu.ru/universitet/rukovodstvo-i-struktura/instituty/niires/npk/> (**сайт Научно-исследовательского Института региональной экономики Севера Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова**), С 7-8.

Д.Д. Фазуллин, Г.В. Маврин, С.В. Корнилов

ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

*Набережночелнинский институт (филиал) Казанского федерального
университета, ПАО «КАМАЗ»,
г. Набережные Челны,
ddfazullin@yandex.ru, mavrin-g@rambler.ru, kornilov.sv@kamaz.ru*

Введение

С увеличением глобальных угроз, связанных с изменением климата и загрязнением окружающей среды, необходимость перехода на экологически безопасные виды транспорта становится приоритетной задачей для многих стран. Водородные топливные элементы представляют собой перспективную технологию, способную значительно сократить выбросы углерода. Электромобили на топливных элементах могут внести значительный вклад в глобальное сокращение выбросов парниковых газов и загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Многие коммерческие модели транспортных средств (ТС) на топливных элементах, обладающие средними значениями запаса хода и производительности, уже доступны на рынке ТС. Однако, несмотря на ряд достоинств, управление переходом к водородному транспорту сталкивается с множеством проблем.

Коммерциализации большегрузных автомобилей на топливных элементах мешают три основных препятствия: высокая стоимость топливных элементов (ТЭ) не высокий КПД (55-62%) и отсутствие обслуживающей инфраструктуры и развитой сети заправочных станций.

Кроме того, существуют экономические ограничения: основные компоненты топливных элементов требуют использования редких и дорогостоящих материалов. Стоимость использования ТЭ также увеличивается из-за сложной системы хранения и транспортировки водорода. Так как водород в обычных условиях является газом с низкой плотностью энергии, требуются баллоны, способные выдерживать высокое давление до 70 мПа. Однако стоимость электрохимических генераторов (ЭХГ) будет постепенно снижаться благодаря усовершенствованию технологий производства и росту масштабов производства. По мере увеличения объемов производства стоимость ЭХГ будет снижаться, приближаясь к стоимости ДВС.

Характеристики автомобиля на ТЭ оцениваются с точки зрения электрического КПД, определяемого по эффективности использования водорода, удельным показателем мощности, плотностью тока. Основные исследования в настоящее время направлены именно на повышения данных показателей и снижению стоимости компонентов ТЭ.

Результаты

В Набережночелнинском институте КФУ в рамках выполнения научно-исследовательских работ ведутся исследования в области повышения плотности тока водородно-воздушных топливных элементов. В настоящее время разработаны составы каталитических чернил и технология изготовления мембранно-электродных блоков (МЭБ) низкотемпературных водородно-воздушных топливных элементов. Основная задача при получении каталитических слоев – это равномерное распределение платины и иономера на поверхности каталитического слоя и адгезия с мембраной. Оптимизация каталитических слоев обычно состоит в создании структуры, у которой максимальное число металлических частиц одновременно контактирует с газовой фазой, углеродной сажей и твердым электролитом (мембрана).

Изготовленные образцы МЭБ состояли из семи слоёв: протонообменной мембраны, рамки мембраны, катодного и анодного каталитических слоев, катодного и анодного газодиффузионных слоев.

Каталитические слои были получены методом деколь непосредственно на поверхности протонообменной мембраны с использованием катализаторов отечественного производства. Загрузка платины на катоде составила не более $0,4 \text{ мг/см}^2$, на аноде – не более $0,2 \text{ мг/см}^2$.

По разработанным составам и технологии изготовлены и испытаны образцы МЭБ с площадью активной зоны 4 и 25 см^2 . Плотность тока полученных МЭБ составляет до 2 А/см^2 , что не уступает зарубежным аналогам.

Установление рабочих характеристик провели в стандартных ячейках испытания МЭБ с графитовыми газораспределительными пластинами, на испытательном стенде единичных топливных элементов.

Испытание образцов МЭБ с площадью 25 см^2 проведены в следующих условиях:

- топливо/окислитель: $\text{H}_2/\text{воздух}$;
- влажность газов: 100%;
- температура газов: $75 \text{ }^\circ\text{C}$;
- температура ячейки: $80 \text{ }^\circ\text{C}$;
- расход $\text{H}_2/\text{воздух}$: $0,58/5 \text{ дм}^3/\text{мин}$;
- давление газов: 150 кПа.

Результаты испытания МЭБ представлены на рисунке в виде графиков вольтамперной и ватт-амперной характеристик.

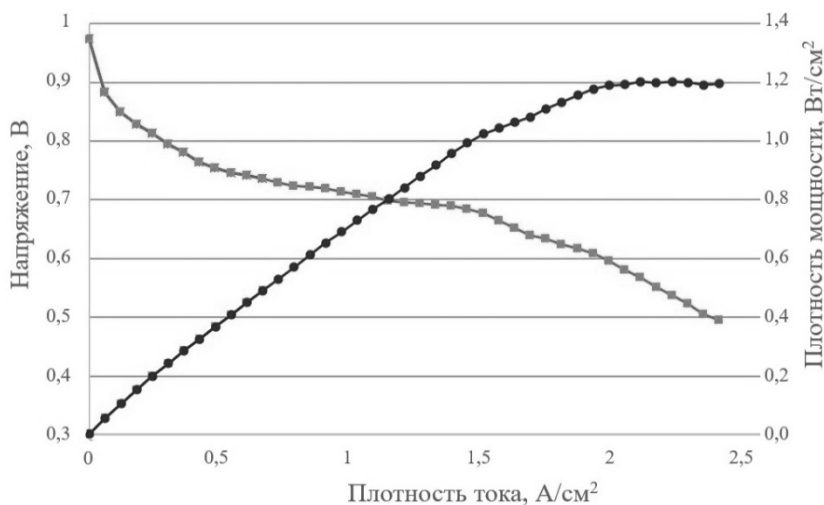


Рис. 1. Вольтамперная и ватт-амперной характеристики МЭБ с площадью активной зоны 25 см²

По результатам испытания установлены следующие рабочие характеристики МЭБ: напряжение разомкнутой цепи (НРЦ) 0,94 В, плотность тока при 0,6 В – 2 А/см², плотность мощности при 0,6В – 1,2 Вт/см².

Заключение

Полученные образцы МЭБ показали плотность мощности, соответствующую зарубежным аналогам. Но для полного отказа от ДВС и перехода на транспортные средства на ТЭ этого недостаточно. Требуется разработка МЭБ с плотностью тока более 3 А/см². Переход к экологически безопасному транспорту на ТЭ представляет собой сложный и многогранный процесс, связан с множеством проблем, требующих комплексного усилия для успешной реализации этой идеи необходимо совместное усилие научного сообщества, бизнеса и общества в целом. Важно сосредоточиться на разработке технологий, инфраструктуры и правовых норм, способствующих более широкому внедрению водородного транспорта.

**ТРАНСКОНТИНЕНТАЛЬНЫЙ ГИБРИДНЫЙ
ЭСТАКАДНЫЙ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТ «ВАЛЬС».
МЕРЫ УКРЕПЛЕНИЯ ЭКОНОМИКИ И ЭКОЛОГИИ
ТЕРРИТОРИЙ ЕВРАЗИИ**

*РАН, НО «Евразийский Фонд привлечения и поддержки инвестиций»,
г. Екатеринбург nofpi@mail.ru*

Мероприятия применения предложенных технических решений и транспортных услуг приняты после проведенного анализа географического и экономического положения стран Евразии, текущего состояния развития их транспортных систем и ландшафтной специфики территорий, с учетом преимуществ и недостатков видов транспортов и базовых данных из таблицы 1.

Капитальные и эксплуатационные расходы по типам транспортных систем

Таблица 1

Сравнительный анализ различных типов транспортных систем на примере России

Транспортная система	Типовые удельные расходы	
	Капитальные затраты на 1 км пути/ млн рублей	Эксплуатационные расходы на 1 тонну *км груза /руб.
Подвесные канатные дороги	53 – 157	0,5 - 0,9
Железная дорога	53 – 439	2,1 – 4,4
Автомобильный транспорт	16,2 – 55	4,3 – 12,2
Конвейерный транспорт	80 – 262	0,4 – 1,2
Авиация	аэропорты + ВПП + авиапарк / км маршрутов*	11,7-25,4
Флот	порты + причалы + суда / км маршру- тов*	0,24 - 0,5

Идеальное конечное транспортное решение состоит в определении и объединении преимуществ по эксплуатационным и капитальным затратам с набором необходимых характеристик для наземных путей и транспортов. Таким образом, с учетом вышеизложенных фактов, ключевые требования для модернизации континентальных систем существующего транспорта по скорости и экономичности логистики можно представить в таблице 2.

Таблица 2

Ключевые требования к континентальным транспортным системам

Технические требования к модернизации транспортных систем	Пояснение
1. Использование электрического привода	КПД электродвигателей с магнитным ротором 99% в отличие от ДВС в 35% [28]
2. Обеспечение прохода транспортов с минимальным временем доставки от точки – до точки;	Использование контейнерного и гибридного передвижения по текущей транспортной инфраструктуре
3. Отсутствие и/или минимизация перевалки, перегрузки, грузового цикла (поднял – поставил) и пересадки пассажиров	Доставка с максимальной скоростью в минимальное время
4. Возможность широкой транспортной доступности	Минимум 100 км от магистральной линии
5. Минимальные траты времени заправки/заряда батарей	Прокладка протяженных линий электропередачи высокой мощности
6. Разрешение задачи «последней мили» доставкой до конечного потребителя.	Ходовая конструкция транспорта обеспечивает перевозку по различным видам путей
7. Проход по мерзлоте, болтам, слабым грунтам, под/над водой, по крутым уклонам	Пути без нарушения экологии природы, нагрева почвы
8. Безопасный подъем и спуск груженых транспортов в гору и с горы	Подъем в гору по уклонам недоступным для существующих типов транспортных систем
9. Применение различных типов пассажирских и грузовых транспортов: наливных, насыпных, термоизолированных грузов хоппер-дозаторов	Расширение типов кузовов, салонов, контейнеров под различные грузы, пассажиров, медицину, туризм и т.д.

Технические требования к модернизации транспортных систем	Пояснение
10. Стандартизация путей с обеспечением скоростного прохождения по территории без технических ограничений	Эффективная доставка крупногабаритных и прочих грузов массой до 40 тонн
11. Энергоэффективность	Сбережение энергии и топлива, применение накопителей энергии, использование «зеленой» энергетики - средств накопления и хранения энергии
12. Экологичность, бесшумность	Максимальное сохранение флоры и фауны планеты, без выбросов шума, тепла и излучений
13. Прямая портовая доступность	Скоростная доставка по континенту «порт-город- порт»
14. Автоматизация транспортной системы на беспилотное применение	По типу «горизонтальный лифт» с отсутствием острой необходимости привлечения большого количества наемного персонала
15. Максимальная безопасность	Отсутствие рисков случайного выхода на пути людей, животных; от падения деревьев, снежных и песчаных заносов; от наводнений, селей, цунами

Итогом анализа и синтеза этих характеристик является проект высокоскоростного транспорта «Вальс», сочетающий в себе вышеуказанные преимущества. Модернизация путей и ходовых мостов позволяет применить более высокие тяговые и тормозные усилия при подъемах и спусках на углах уклонов путей до 50 градусов. Конструкция путей, оборудованная системой регулирования смещений, позволяет выравнивать малозагруженные пути с безударными стыками идеально ровно, чем увеличивает безопасность и скорость электротранспортов «Вальс». Ходовые пути улучшены для сохранения автоматизированной курсовой устойчивости при боковых ветровых и опрокидывающих нагрузках на скоростных поворотах. Эстакадное расположение путей над ландшафтом на вантовом подвесе сочетает необходимую жесткость с малым весом и материалоемкостью путевого хозяйства в сочетании с высокой устойчивостью от ветровых, паводковых, снеговых и динамических нагрузок. Расположение путей на опорах выше грунта и флоры позволя-

ет сохранить природу и обезопасить движение от случайных наездов для людей, животных и от упавших деревьев.

Специальные типы фундаментов разрешают задачи прокладки транспортных путей на опорах в сложных недоступных условиях - над мерзлотой, по болотам и водным преградам. Размещение путей на высоте с подъемами и спусками позволяет прокладывать высоко нагруженные транспортные потоки в недоступных для других сухопутных транспортных систем условиях без строительства мостов. Удобно грузить/разгружать транспорт «Вальс» на земле в любом расположении от путей с использованием уже существующей автодорожной инфраструктуры. Бегущие по путям транспорты «танцуют» по маршруту – «вальсируя» по ландшафту вверх и вниз с путей на дороги и обратно. Преимущество накопления энергии при спуске машин «Вальс» в аккумуляторные батареи обеспечивает сбережение энергии на последующий подъем.

Электрифицированные пути, дополнительно являются по сути линиями электропередачи для энергоснабжения энергией и поддержки подачи на территории промышленных объемов электричества, в том числе и для заряда транспорта.

Транспортные модули имеют гибридные ходовые мосты с электрическим и гидроприводом, чем совмещают быстроходное передвижение по эстакадному пути с автоматизированным регулированием дополнительных тяговых и тормозных усилий на подъемах и спусках ландшафта и движение по дорогам общего пользования. Электродвигатели с высоко-сильным магнитным ротором и высоким КПД эффективнее по мощности и лучше по энергосбережению.

Базовая платформа транспортов «Вальс» позволяет размещать различные типы кузовов для пассажиров и контейнеры для различных типов грузов. Система автоматизированной маршрутизации доставки грузов от точки отправки до точки приемки с отслеживанием места расположения прохождения транспортов освобождает от лишней рутины массу людей.

Таблица 3

Сравнение типов транспорта по удельному объему отгрузки

Сравнение типов транспорта по удельному объему отгрузки на 1 км/час пути Расчет удельной мощности загрузки					
Тип транспорта	Ско- рость	Грузо- поток	Удельный объем отгрузки	Мощн. двигат.	Удель- ная мощ- ность
	км\ч	т. (чел)	т (чел)·км/ч ас	кВт	кВт/т(ч ел)·км/ час
ЖД грузовой	41	60	2 460	6 000	2,44
ЖД пассажирский	80	58	4 640	6 000	1,29
Трамвай сидя	60	22	1 320	450	0,34
стоя	60	42	2 520	450	0,18
Метро	60	60	3 600	720	0,20
Авто горный Бе- лаз	28	320	8 960	3 383	0,38
грузовой	90	20	1 800	470	0,26
Вальс грузовой	150	40	6 000	200	0,03
пассажирский	250	40	6 000	200	0,02
Самолет грузовой	850	35	29 750	12 000	0,40
пассажирский	850	100	85 000	12 000	0,14
Флот	40	40 000	1 600 000	80 096	0,05



Предварительный расчет удельной мощности по видам транспорта показывает отличную энергоэффективность доставки грузов с помощью «Вальс»: 0,3 по сравнению с флотом 0,5. Это на 40 % выше флота по энергоэффективности и быстрее, и экологичнее. Следует отметить, что увеличение скорости «Вальса» технически более разрешимая задача по сравнению с увеличением скорости флота или грузоподъемностью самолетов. Подъем скорости транспортов «Вальс» соответственно еще более снизит удельные расходы по мощности транспортных услуг (при 250 км/ч – 0,02, при 650 км/ч – 0,01) и предоставляет лучшие условия по времени доставки грузов чем флот с меньшими затратами энергии и наивысшей экологичностью, и дополнительно обслуживает всю прилегающую территорию по маршруту в отличие от самолета, ЖД и флота.

Итак, модернизация транспортных услуг по доставке людей и сырья по стоимости, присутствующей в себестоимости любого продукта, следовательно, и цен логистики грузов и пассажиров, эффективность ее капитальных и эксплуатационных затрат, определяют скорость и ускорение развития промышленности и среды обитания.

Схемы логистики и перегрузки грузов между городами, портами всегда исторически были средством стабильного экономического роста территорий, расположенных на этом пути, на всем протяжении истории цивилизации. Таким образом модернизированные транспортные решения и их составляющие элементы определяют качественное развитие экономики и сохранение флоры и фауны континентов.

1. **Л.А. Манашкин** (New Jersey Institute of Technology, США), **С.В. Мямлин** (ДИИТ), **В.И. Приходько** (ОАО «Крюковский вагоностроительный завод») Оценка силы ударного взаимодействия колеса и рельса на стыке двух рельсов
2. DOI: 10.31696/2227-5568-2021-01-033-050 **Борисов М. Г.** ТРАНС-ПОРТ ИНДИИ Borisov Mikhail TRANSPORT OF INDIA
3. <https://news.un.org/ru/story/2024/10/1457581> Новости ООН Октябрь 2024 года.
4. <https://www.shipuniverse.com/top-30-reasons-why-maritime-shipping-is-the-backbone-of-global-trade/>
30 главных причин, по которым морские перевозки являются основой мировой торговли
5. <https://nonews.co/directory/lists/geography/worlds-maritime-choke-points> Географический справочник. Список ключевых морских коридоров.
6. <https://www.morport.com/rus/news/gruzooborot-morskih-portov-rossii-za-yanvar-dekabr-2023-g> Ассоциация морских портов России, Статистические данные по грузообороту портов России

7. <https://rossaprimavera.ru/news/e78dd3e8> ИА Красная весна. Новости. Грузооборот портов Саудовской Аравии 2024 г.
8. <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-razvitiya-transportnoy-logistiki-kitayskoy-narodnoy-respubliki> Оценка развития транспортной логистики Китайской Народной Республики/ Текст научной статьи по специальности «Социальная и экономическая география», **Ковалева Ирина Валериевна, Ван Тэньюань**.
9. www.iran.ru/news/economics/122605/Bolee_207_millionov_tonn_tovarov_zagruzhenov_vygruzhenov_v_portah_Irana_za_god РИА ИРАН.РУ
10. <https://www.morglass.com/ru/top-5-busiest-shipping-routes-for-global-trade-in-2022.html> Морская логистика мира
11. <https://babikov-prometey.narod.ru> Мировоззрение. **Бабиков Юрий Анатольевич** гл.3 Строение планеты.
12. Отчет МРСК Урала за 2011 год стр. 4 «...Отпуск в сеть 77 756 382 тыс. квт Потери 6 179 424 тыс. квт...» 8%
13. Длина Судоходных рек России https://ru.wikipedia.org/wiki/Судоходные_реки_России
14. Длина Рек России <https://www.osinniki.org/19508-a-vy-znali-chto-obshchaja-protjazhennost-rossijskih-rek-65-mln-km.html>
15. Список городов с населением более миллиона человек https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_городов_с_населением_более_миллиона_человек
16. ЖД: статистика происшествий на железных дорогах <https://zdmira.com/articles/mszhd-statistika-proisshestvij-na-zheleznykh-dorogakh>
17. Чудо коммуникации и древнейший колесный транспорт Евразии https://www.academia.edu/5833537/Чудо_коммуникации_и_древнейший_колесный_транспорт_Евразии
18. Инновационная экономика: информация, аналитика, прогнозы, 2024, № 4 стр. 137 УДК 339 doi:10.47576/2949-1894.2024.4.4.016 ОЦЕНКА РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКИ КИТАЙСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ **Ковалева Ирина Валериевна** Алтайский государственный аграрный университет, Барнаул, Россия Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, Барнаул, Россия Ван Тэньюань Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, Барнаул, Россия
19. **В. В. Плотников, Н. В. Богданова, А. В. Самойлов** Снижение энергозатрат при трубопроводной транспортировке жидкостей
20. Проектный Байкал projectbaikal.com/index.php/pb/a... [PDF] Транспортная конфигурация Евразии и Новый шелковый путь...

21. МАТЕРИАЛЫ IX Международной научно-практической конференции «Транспорт Евразии XXI века: Современные цифровые технологии на рынке транспортных и логистических услуг» в рамках реализации государственных программ «Нурлы жол» и «Цифровой Казахстан» 20-21 декабря 2018 года [PDF] Транспорт Евразии XXI века: современные цифровые технологии global.wildberries.ru **Ж.Г. Жанбиров, С.С. Дуйшебаев, А.Абжапарова, Ж.Б. Дуйсенбаева** Основные проблемы системы городского общественного транспорта в городах Казахстана стр. 182-187 alt.edu.kz
22. КузГТУ [PDF] УДК 629.4 — kuzstu.su «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ИННОВАЦИИ В НАУКЕ И ПРОИЗВОДСТВЕ» 03-04 апреля 2019 134-1 УДК 629.4 **Рожков, М.А. Нартов, Т.Р. Бикенов** ВЫБОР ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ ГРУЗОВОГО ПОЕЗДА ДЛЯ УСЛОВИЙ РАБОТЫ НА ПОДЪЕЗДНЫХ ПУТЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ А.В.
23. alt.edu.kz Альт-университет — alt.edu.kz Материалы (сборники) конференций — Альт-университет Материалы (сборники) конференций IV МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ТРАНСПОРТЕ: ОБРАЗОВАНИЕ, НАУКА, ПРОИЗВОДСТВО».
24. alt.edu.kz Альт-университет — alt.edu.kz Материалы (сборники) конференций — Альт-университет Материалы (сборники) конференций 26 АПРЕЛЬ 2024 Г. III МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ТРАНСПОРТЕ: ОБРАЗОВАНИЕ, НАУКА, ПРОИЗВОДСТВО».
25. alt.edu.kz Альт-университет — alt.edu.kz Материалы (сборники) конференций 28 АПРЕЛЬ 2023 Г. II МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ТРАНСПОРТЕ: ОБРАЗОВАНИЕ, НАУКА, ПРОИЗВОДСТВО».
26. alt.edu.kz Альт-университет — alt.edu.kz Материалы (сборники) конференций 29 АПРЕЛЬ 2022 Г. «СОВРЕМЕННЫЕ ВЗГЛЯДЫ НА ИНТЕГРАЦИЮ НЕПРЕРЫВНОГО ОБРАЗОВАНИЯ И ИНДУСТРИИ» МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ ТРАНСПОРТНО-КОММУНИКАЦИОННЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ.
27. УДК 625.12.033.38 **Абдукамилов Ш.Ш.**, к.т.н., (ТашИИТ) Колебательный процесс железнодорожного земляного полотна из барханного песка.
28. **Бабат Г. И.** Питание энергией безрельсового наземного транспорта посредством электромагнитной индукции // Известия Акад. наук СССР; отд. техн. наук. — 1946. — № 2. — С. 219—228.

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ КОЛЕСНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ДВУХПОТОЧНОЙ БЕССТУПЕНЧАТОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИИ

*Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана (МГТУ им. Н.Э. Баумана), г. Москва,
ivan.anikeev@cmt-engineering.ru*

Введение

Электромобили набирают большую популярность в мире не только как новый тип транспортных средств, но и как объект научных исследований. Применение электродвигателя на транспортных средствах решает ряд задач, которые на сегодняшний день стоят перед автопроизводителями: уменьшение вредных выбросов в атмосферу, снижение шума, утилизация отработанных смазочных материалов, повышение энергоэффективности и эксплуатационных качеств силового агрегата и т.д. При этом возникает проблема ограниченного запаса хода электро-транспорта на одном заряде аккумуляторов. Решение этой проблемы является важнейшей задачей на сегодняшний день.

Одно из направлений повышения энергоэффективности электрического транспортного средства – применение многоступенчатой трансмиссии, позволяющей эксплуатировать электродвигатель в режимах высокого КПД при различных внешних условиях. Переменное передаточное число трансмиссии обеспечивает наилучший баланс эффективности и производительности: на малых скоростях пониженное передаточное число позволит электромобилу быстрее разогнаться и эффективнее преодолевать подъемы; более высокое передаточное число позволит увеличить максимальную скорость автомобиля и снизить расход энергии на высоких скоростях.

Основная часть

Для достижения данной цели в работе предложена следующая схема коробки передач (рис.1). Она представляет собой двухпоточную коробку передач, в которой поток мощности от электродвигателя идет через клиноременный вариатор на солнечную шестерню суммирующего планетарного ряда с одной стороны, и через зубчатую пару на корончатую шестерню суммирующего планетарного ряда с другой. Такая схема позволяет: плавно изменять передаточное число трансмиссии; изменять скорость электромобилля при фиксированных оборотах электродвигателя, соответствующих высокому КПД; разгрузить вариатор.

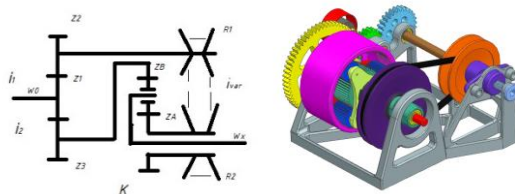


Рис. 1. Схема и макет двухпоточной коробки передач

КПД электродвигателя меняется в широком диапазоне (рис.2). С помощью двухпоточной коробки передач (ДКП) обеспечивается работа электродвигателя в зоне высокого КПД в разных эксплуатационных режимах. При этом КПД самой ДКП также изменяется, и необходимо стремиться к наивысшему КПД системы электродвигатель-трансмиссия. Это обеспечивается законами управления ДКП: зная положение педали акселератора и текущую скорость ТС, ДКП обеспечивает необходимое передаточное число, при котором КПД системы электродвигатель-трансмиссия наивысший; при торможении передаточное число КП изменяется, чтобы обеспечить наибольшую рекуперацию энергии.

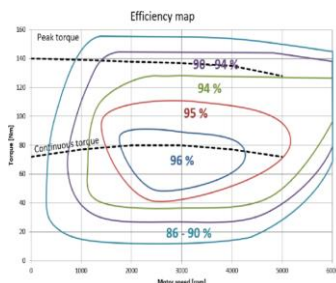


Рис. 2. Зависимость крутящего момента электродвигателя EMRAX 208 (Нм) от скорости вращения (об/мин)

Для управления двухпоточной бесступенчатой коробкой передач были разработаны три закона: динамический, экономичный и рекуперативный. Вариатор был рассмотрен как десятиступенчатая коробка передач с передаточными числами 3.6, 3.04, 2.58, 2.18, 1.85, 1.56, 1.32, 1.12, 0.95 и 0.8. Ниже представлены карты переключения передач для трех режимов (рис.3). Подробнее эти законы рассмотрены в рамках диссертационной работы.

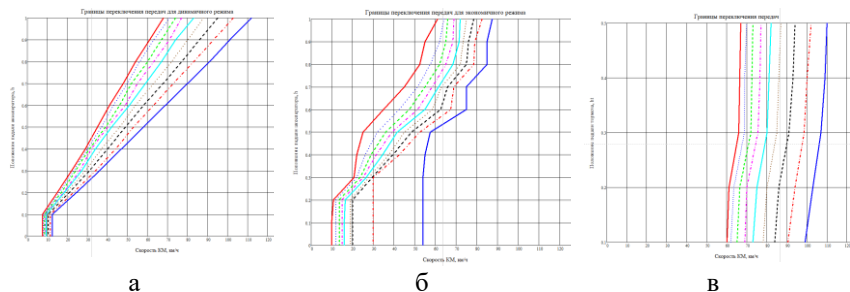


Рис. 3. Карты переключения передач для: динамического режима – а, экономического режима – б, рекуперативного режима - в

Заключение

Была собрана математическая модель электрического ТС с двухпоточной бесступенчатой коробкой передач и с фиксированной передачей. Проведены сравнительные испытания разных типов трансмиссии в рамках европейского ездового цикла – городского и загородного. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Тип трансмиссии	Цикл	Затраченная энергия, кВт·ч	Рекуперированная энергия, кВт·ч	Затраченная энергия на поездку, кВт·ч
КП с экономичным режимом	Тестовый	0,105	0,031	0,074
	Городской	0,087	0,015	0,072
	Загородный	0,907	0,041	0,867
КП с динамическим циклом	Тестовый	0,108	0,031	0,077
	Городской	0,088	0,015	0,073
	Загородный	0,907	0,041	0,867
КП с фиксированной передачей	Тестовый	0,112	0,015	0,097
	Городской	0,099	0,015	0,083
	Загородный	1,016	0,0397	0,976

Двухпоточная бесступенчатая трансмиссия с разработанным законом управления позволяет повысить энергоэффективность электрического колесного транспортного средства от 4% до 12 %; рекуперативная энергия повышается более чем в 2 раза, в сравнении с электромобилем с фиксированной передачей; а запас хода возрастает до 24%. Конечно, применение более сложной трансмиссии повышает расходы производства, но, в свою очередь, позволяет устанавливать тяговый электродвигатель меньшей мощности и тяговую батарею меньшего объема, что

приведет к снижению себестоимости такого транспортного средства как электромобиль.

Н.А. Филиппова, М.Р. Мамедов, Н.А. Гринкевич, В.К. Калмыков

ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА В ГОРОДАХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

*Московский автомобильно-дорожный государственный технический
университет (МАДИ), г. Москва,
umen@bk.ru*

Введение

Арктическая зона представляет собой уникальный регион с суровыми климатическими условиями, которые накладывают значительные ограничения на использование традиционных видов транспорта. Однако в последние десятилетия наблюдается рост интереса к развитию экологически чистых и энергоэффективных транспортных решений, включая электрические виды транспорта.

Основная часть

Применение электромобилей, гибридных автомобилей и другого электрического транспорта в Арктике становится актуальным вопросом как с точки зрения экологии, так и с позиции устойчивого развития региона.

Москва является фаворитом по доли электробусов, т.е. автобусов, использующих для движения исключительно энергию, запасенную в аккумуляторных батареях. В других крупных городах присутствуют электробусы, но их доля заметно ниже. Сегодня электробусы есть только в городах России с населением близким к миллиону человек.

Троллейбусы, наравне с трамваями в большинстве городов занимают сравнительно небольшую долю общественного транспорта.

Особенно высокая доля транспорта с ДВС наблюдается в городах, таких как Тюмень, Иркутск и Владивосток, что указывает на доминирование традиционных автобусных перевозок преимущественно в городах с небольшим населением.

Из этого можно сделать вывод, что электрический городской наземный транспорт присутствует в большинстве городов, но он имеет хорошее развитие только в Москве, Санкт-Петербурге и Казани. Боль-

шинство же российских городов по-прежнему ориентированы на использование автобусов с ДВС. Только в Мурманске в настоящий момент осуществляется движение электротранспорта.

Помимо этого, в городе Архангельск были закрыты 2 системы городского электрического наземного транспорта. Проведенное исследование показало, что система электрического городского наземного транспорта на сегодняшний день корректно функционирует только в городах с населением около 1 миллиона жителей. В городах Севера и Арктической зоны России данная система практически не развита. Единственным городом, где функционирует сеть городского электрического городского наземного транспорта, остается город Мурманск, где наравне с автобусами с ДВС на линию выходят и троллейбусы [1].

На данный момент электробусы не должны становиться приоритетной целью в развитии общественного транспорта. Необходимо учитывать экономический аспект и думать над альтернативами, которые могут быть более эффективными и целесообразными для конкретного региона, к примеру, использование автобусов с дизельными двигателями может оказаться более надежным вариантом, чем электробусы, которые могут иметь ограниченный радиус действия в условиях низких температур [2].

Например, использование «Северобусов» - специальных утепленных автобусов, предназначенных для эксплуатации при низких температурах и сложных климатических условиях, может стать отличным решением для транспортировки пассажиров в Арктической зоне. Кроме того, стоит рассмотреть возможность развития гибридных технологий, которые сочетают в себе преимущества как электрического, так и дизельного транспорта.

Если говорить о троллейбусах с увеличенным автономным ходом, то при всех своих достоинствах, ТУАХ тоже на данный момент не могут быть внедрены повсеместно. Происходит это из-за относительно небольшого автономного хода, который составляет 12–20 километров в зависимости от модели. Равно как и электробусы, данный подвижной состав крайне чувствителен к инфраструктуре. Из-за этого и возникает невозможность перевода пассажирского транспорта Арктики и Крайнего Севера на ТУАХ. В большинстве городов отсутствует действующая троллейбусная инфраструктура.

Так же возможно внедрение на маршруты подвижного состава с двигателем на альтернативном топливе, например, на водороде. Опыт сборки техники на водородном топливе в России уже есть. В Москве на выставках уже показывали так называемый «Водоробус», то есть электробус, в котором водород выступает как топливный элемент. При этом в 2022 году генеральный директор ГУП «Мосгортранс» Николай Ана-

тольевич Асаул заявил, что запуск «Водоробуса» пока невозможен в нашей столице, ввиду того что водородная технология ещё не достигла нужного уровня [3].

В 2024 году Московский физико-технический университет на выставке в Екатеринбурге представлял свои разработки, которые предназначены, в том числе и для Арктической зоны России – квадрокоптер на водороде, водородный самосвал, снегоход и первый в мире арктический вездеход на водороде - РУСАК К-10 FCEV. Данный вездеход обладает способностью работать при экстремальных температурах и сохранять свою работоспособность даже при температуре -60 °С, следовательно, существует и перспектива в развитии и использовании транспорта на водородных топливных элементах в русской Арктике [4]. По крайней мере, с точностью можно говорить о развитии мультимодальной мобильности, где вездеходная техника (необязательно на водороде), будет гармонизировать с другими видами транспорта [5].

Заключение

Исходя из всего вышесказанного, можно сделать выводы, что на данный момент в городах Севера и Арктики уже существует действующая и успешно функционирующая система городского пассажирского общественного транспорта, представленная обычными автобусами на газе и других горючих видах топлива. В крупных городах практически не существует проблем с транспортной доступностью для населения. На данный момент системы электробусов, равно как и остальные «зеленые» альтернативы являются невозможными к запуску ввиду недостаточного скудного опыта эксплуатации и нерентабельности для данных территорий.

1. Мурманский троллейбус / [Электронный ресурс] // АО «Электротранспорт города Мурманска»: [сайт]. — URL: <https://murmansktrrolleybus.ru/>
2. **Филиппова, Н. А.** Транспортные системы и дорожная инфраструктура севера / Н. А. Филиппова // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2022. – № 3. – С. 1-2. – EDN MCCTDQ.
3. **Ольга Сергеева** Водоробусы на Юге России: транспорт будущего или несбыточная мечта? / Ольга Сергеева [Электронный ресурс] // Деловое медиа «Эксперт ЮГ»: [сайт]. – URL: https://expertsouth.ru/articles/vodorobusy-na-yuge-rossii-transport-budushchego-ili-nesbytochnaya-mechta/?bx_sender_conversion_id=5743453&ysclid=m90ddzhs096358775
4. МФТИ представил первый российский вездеход на водороде /

[Электронный ресурс] // МФТИ: [сайт]. — URL: <https://mipt.ru/news/mfti-predstavil-pervyy-rossiyskiy-vezdekhod-na-vodorode>

5. Основные факторы, влияющие на мультимодальную транспортную систему / **М. Л. Пономарев, Н. А. Филиппова, А. Ю. Великанов, А. А. Неретин** // Мир транспорта. – 2021. – Т. 19, № 5(96). – С. 69-74. – DOI 10.30932/1992-3252-2021-19-5-8. – EDN BOJOVN.

РАЗДЕЛ 5

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ
И ЦИФРОВАЯ
ТРАНСФОРМАЦИЯ КАК
ИНСТРУМЕНТЫ
ПОСТРОЕНИЯ
ТРАНСПОРТНО-
ЛОГИСТИЧЕСКИХ
СИСТЕМ**

ПАТТЕРНЫ ТРАНСПОРТНОГО ПОВЕДЕНИЯ ИНДИВИДОВ

*Тульский государственный университет,
Россия, г. Тула, agureev-igor@yandex.ru*

Введение

Транспортные системы городов, городских агломераций представляют собой большие социотехнические системы, имеющие все признаки сложности. Последние годы в транспортной науке отмечаются повышенным вниманием к вопросам взаимодействия транспортных систем с внешней средой, обществом, операторами различных городских функций [1]. Организация перевозок пассажиров требует использования программно-целевых и логистических принципов, методов оптимизации, транспортного планирования и моделирования [2]. К настоящему времени сформулированы основы теории транспортных макросистем и транспортного поведения [3].

Основная часть

В данной работе представлен общий подход выявления паттернов транспортного поведения, обосновывается универсальность анализа транспортных систем с использованием паттернов, дается описание взаимосвязей между дисциплинами, демонстрирующими различные подходы к представлению паттернов поведения. При этом сам паттерн поведения становится новым, комплексным вариантом понятия «элемент множества состояний» в рамках макросистемного подхода [4]. В работе на основе анализа различных известных методов обработки данных и визуализации результатов разработан общий инструментарий, который позволяет рассматривать паттерны транспортного поведения в виде некоторых образов или траекторий в фазовых или вероятностных пространствах.

Если идти от физики транспортных процессов, можно предложить систему принципов, которые в той или иной степени можно соотнести с принципами У. Гренандера [5]:

1) фундаментальность (система, содержащая паттерн, и сам паттерн, являются проявлением микроскопических процессов в макроскопической системе, имеющих физико-математическое и/или физико-статистическое описание);

2) повторяемость (паттерн имеет свойство пространственно-временных, пространственных или временных структур – как в синергетике);

3) элементарность (в основе существования паттерна имеются процессы, деление которых на более простые либо невозможно, либо приводит к исчезновению паттерна);

4) универсальность (один и тот же вид структуры, поведения и/или процесса в системе может быть характерным для систем различной природы).

Перечисленные принципы позволяют обеспечить создание методик идентификации паттернов в больших транспортных системах, полагаясь на физику формирования паттернов. Далее будем придерживаться системного динамического подхода, который означает проявление паттернов транспортного поведения как результата естественных процессов в транспортных системах.

Для идентификации паттернов поведения необходимо чётко сформулировать аспекты, при которых паттерны возникают и выявляются. Эти аспекты следующие: 1) конкретный вид объекта исследования – транспортной системы; 2) конкретная операция транспортного процесса, которая рассматривается в качестве носителя паттерна; эта же операция определяет тип математического пространства, в котором происходят описание операции; 3) характер транспортного процесса: одиночный или коллективный; 4) временной интервал, на котором происходит проявление и поиск паттерна (в текущий момент, на коротком интервале, на длительном отрезке времени, на непрерывном); 5) повторяемость транспортного процесса: однократная или многократная. Процессом здесь мы называем перемещение индивида на сети, который в общем случае отличается двойственным характером: с одной стороны, это движение индивида, а с другой – транспортного средства, с помощью которого осуществляется поездка.

С целью обобщения поиска и выявления паттернов покажем взаимосвязь теории паттернов с такими науками, как нелинейная динамика, теория сложности, теория макросистем.

В синергетике исследуются явления самоорганизации в термодинамических, физических, технических и других видах систем. При этом возникают такие явления как:

1. устойчивые особые состояния (аттракторы);
2. резкий переход из одного состояния в другое при достижении критического значения параметра порядка (бифуркации, фазовые переходы);
3. сложное поведение системы, детерминированный хаос, самоорганизация и др.

Это означает, что возникновение физических паттернов и их идентификация неотъемлемы от использования подобных понятий. Во многих работах [3] показано, что теория самоорганизации подходит и для описания поведения транспортных систем.

Заключение

Мы характеризуем паттерн транспортного поведения как объект, который отображает *сложность* системы. Понятие сложности изучается в рамках теории самоорганизованной критичности, являющейся отдельной ветвью нелинейной динамики. Поэтому считается, что с паттернами поведения тесно связано такое явление как самоорганизация систем и возникновение в них пространственно-временных структур [6-9].

1. **Корчагин В. А., Ризаева Ю. Н.** Биосферно-совместимое функционирование инженерных разработок // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura.* – 2016. – №. 3 (9).
2. **Якимов М. Р., Попов Ю. А.** Транспортное планирование: практические рекомендации по созданию транспортных моделей городов в программном комплексе PTV Vision@ VISUM : монография. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Проспект, 2022. – 176 с.
3. **Агуреев И. Е., Ахромешин А. В.** Системы управления транспортным поведением населения городских агломераций. Паттерны поведения, методы их распознавания //Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2024. – №. 4. – С. 57-75.
4. **Попков Ю. С.** Теория макросистем: Равновесные модели. Изд. 2-е. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. – 320 с.
5. **Гренандер У.** Лекции по теории образов. Синтез образов. – М.: Мир, 1979. – 384 с.
6. **Малинецкий Г. Г., Потапов А. Б.** Современные проблемы нелинейной динамики // Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. – 2001. – Т. 9. – №. 3. – С. 119-121.
7. **Олемской А. И.** Синергетика сложных систем: Феноменология и статистическая теория // М.: КРАСАНД. – 2009. – 379 с.
8. Пригожин И., Николис Ж. Биологический порядок, структура и неустойчивости // Успехи физических наук. – 1973. – Т. 109. – №. 3. – С. 517-544.
9. **Хакен Г.** Синергетика. Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. – М.: Мир, 1985. – 423 с.

РОБОТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

*Московский государственный автомобильно-дорожный университет
(МАДИ), г. Москва, vmv@transnavi.ru*

Введение

В настоящее время внедрение в практику автоматизированных средств помощи водителю (Advanced Driver Assistance System – ADAS) является признанным и эффективным инструментом повышения безопасности движения автотранспортных средств.

Основная часть

Перспективным направлением повышения безопасности движения транспортных средств ГПТ является роботизация процесса управления продольным и поперечным движением транспортных средств городского пассажирского транспорта на маршрутах. В качестве примера можно привести израильскую компанию «Mobileye», которая разработала систему Shield+, включающую ряд электронных компонентов, помогающих водителю автобуса сориентироваться в обстановке при маневрировании, а также информационную систему помощи водителю автобуса, включающую главный модуль «MobileShield Master» [1, 2].

Работа водителя автобуса подразумевает выполнение ряда специальных обязанностей помимо стандартных функций вождения автомобиля в общем дорожном потоке. К таким обязанностям относятся строгое следование графику движения согласно установленному расписанию, поддержание безопасной скорости на различных участках маршрута, аккуратное маневрирование во время остановки и высадки пассажиров, а также обеспечение безопасного осуществления этих операций. Дополнительно, передвижение автобусов часто задерживается на светофорах и пешеходных переходах, что создает дополнительные трудности водителю в поддержании требуемого графика движения. Всё вышечисленное подчеркивает необходимость разработки автоматизированных решений для улучшения точности следования графикам движения путём автоматической коррекции скоростей с учётом существующих ограничивающих факторов. Учитывая современные технологические возможности, процесс перехода к автоматическому управлению движением автобусов на городских маршрутах можно рассматривать как перспективное направление – роботизацию управления транспорт-

ными средствами общественного транспорта.

Разрабатываемая методика роботизации процесса управления движением транспортного средства городского пассажирского транспорта по маршруту основана на построении высокоточных аналитических пространственных моделей маршрутов движения и на использовании механизмов нечеткой логики при управлении продольным и поперечным движением транспортного средства на маршруте.

Специалисты, занимающиеся вопросами программного управления автомобиля по заданной трассе, отмечают, что «реализация концепции самоуправляемого автомобиля опирается на формирование цифровой базы заданной трассы и алгоритма управления автомобилем, обеспечивающего движение с ограниченным отклонением от трассы» [3].

При выборе метода описания сложной пространственной траектории маршрута мы рассмотрели существующие методы, в первую очередь транспортной геодезии, которые используются при проектировании пространственных кривых, описывающих повороты трасс автомобильных дорог в плане [4, 5]. Мы остановили свой выбор на кривых Безье, которые получили широкое распространение в автомобилестроении и других отраслях при описании сложных пространственных кривых с высокой точностью. Важным свойством кривой Безье является то, что для воспроизведения кривой нужно только несколько базовых точек, располагающихся в пространстве и определяющих форму кривой. Таким образом, в память бортового компьютера для описания каждого маневра должны загружаться только координаты базовых точек. Само же множество точек кривой генерируется с использованием алгоритма Кастельжо при изменении параметра кривой t в пределах от 0 до 1 [6]. Проведенные нами исследования показали, что с помощью кривых Безье до 3-го порядка включительно можно с достаточной точностью. Это позволяет использовать данный подход при проектировании самых сложных моделей трасс маршрутов городского пассажирского транспорта.

Второй важной составляющей методики роботизации является создание системы управления движением транспортного средства ГПТ по маршруту. Подход к реализации данной задачи основан на следующих положениях. При существующей организации управления перевозками пассажиров городским пассажирским транспортом диспетчерская система может выдавать задание водителю транспортного средства перед каждым новым рейсом. В рассматриваемом нами случае информация расписания движения, в том числе информация, описывающая модель маршрута должна передаваться в режиме реального времени по радиоканалу в память бортового компьютера. Этой информации достаточно, чтобы начать движение по маршруту под управлением роботизирован-

ной системы управления. В качестве роботизированной системы управления может выступать система помощи водителю автобуса, на основе интеллектуального телематического контроллера, который мы называем Advanced Bus Driver Assistance System – ABDAS.

Механизм управления продольным и поперечным управлением движения пассажирского транспортного средства при движении на маршруте реализован на основе использования аппарата нечеткой логики, который реализуется бортовыми аппаратно-программными средствами транспортного средства ГПТ.

Заключение

Сегодня широко распространено использование автоматизированных систем поддержки водителей (ADAS), поскольку они доказали свою эффективность в повышении уровня безопасности автомобилей. Одним из многообещающих направлений дальнейшего повышения безопасности транспортных средств городского пассажирского транспорта становится роботизация процессов управления продольной и поперечной динамикой этих транспортных средств на маршрутах. Предлагаемый метод роботизации основан на создании высокоточнейших аналитических пространственных моделей маршрутов движения и применении методов нечёткой логики для контроля траектории и поддержания необходимой скорости транспортного средства на протяжении всего пути следования.

1. Driving the autonomous vehicle evolution. [Электронный ресурс] // URL: <https://www.mobileye.com/>
2. Mobileye Shield+ [Электронный ресурс] // URL: <https://rgrauto.ru/solutions/mobileye-shield.html?ysclid=li7cefgizb396878474>
3. Программное управление движением автомобиля по заданной трассе / В.Б. Борисевич, А.М. Иванов. – Вестник МАДИ №1 2014, стр. 20-26.
4. Проектирование автомобильных дорог: Справочник инженера-дорожника. М.: Транспорт: 1989. – 437 с.
5. Елугачёв, П.А. Пространственное трассирование автомобильных дорог кривыми Безье : диссертация ... кандидата технических наук : 05.23.11. – Томск, 2007. – 218 с.
6. Вычислительная геометрия / О.А. Графский. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2014. – 150 с.

ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК В АВТОТРАНСПОРТЕ

*Российский университет транспорта РУТ (МИИТ),
г. Москва, metsirotkin@gmail.com*

Введение

Цифровой двойник — это виртуальная модель реального транспортного средства, которая с помощью цифровых технологий отображает его характеристики и текущее состояние. Такая технология позволяет в режиме реального времени собирать и анализировать данные о работе машины, предсказывать неисправности и оптимизировать обслуживание. Это эффективный инструмент для мониторинга и повышения надёжности автотранспорта [1-5].

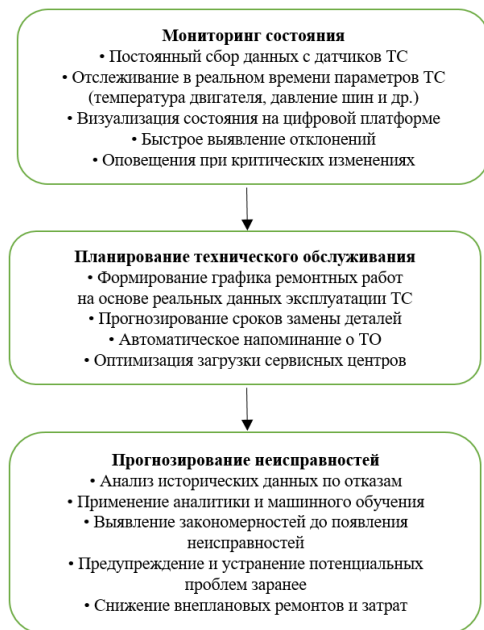
Основная часть

Поскольку цифровой двойник создаётся с помощью синергии различных технологий возможно максимально точно отражать текущее состояние автомобиля, анализировать работу его систем и предсказывать возможные неисправности. Современный цифровой двойник невозможен без ключевых элементов, представленных в таблице.

Ключевые элементы цифрового двойника автотранспорта

Номер п/п	Компонент технологии	Назначение компонента
1	Программное обеспечение для моделирования и визуализации	Обеспечивает создание виртуальной копии автомобиля, отображение всех процессов и взаимодействий транспортного средства.
2	Датчики и устройства сбора данных	Позволяют в реальном времени получать информацию о состоянии основных узлов, перемещении и технических параметрах автотранспортного средства
3	Серверы и облачные платформы для хранения и обработки данных	Отвечают за надёжное сохранение и оперативную обработку данных, поступающих в цифровой двойник.
4	Инструменты кибербезопасности	Защищают данные цифрового двойника от несанкционированного доступа и киберугроз.

Как видно из таблицы в современном управлении техникой технология цифрового двойника выполняет сразу несколько важных функций [6]. Однако в данной работе будет рассмотрена система для прогнозирования неисправностей, поскольку данная функция является одной из самых востребованных и перспективных. Она позволит заранее выявлять и устранять потенциальные сбои и отказы в работе оборудования техники. Принцип работы данного модуля цифрового двойника представлен на рисунке.



Составляющие модуля прогнозирования неисправностей транспортного средства

Мониторинг состояния уже не ограничивается разовыми проверками: система непрерывно систематизирует данные с множества датчиков, предоставляя точное отображение текущего состояния объекта в цифровой среде. Любые отклонения или тревожные изменения фиксируются сразу, что позволяет оперативно реагировать на зарождающиеся проблемы и поддерживать оптимальную работоспособность техники.

Планирование технического обслуживания становится интеллектуальным процессом, основанным не на усреднённых нормах, а на реальных данных эксплуатации. Благодаря прогнозным моделям цифровой

двойник заранее определяет, когда и какое вмешательство потребуется, равномерно распределяя информационную нагрузку между сервисными центрами и сводя к минимуму вынужденные простои.

В рамках прогнозирования неисправностей заложены механизмы сложного анализа: машинное обучение выявляет скрытые закономерности в больших массивах данных, позволяя предвидеть будущие отказы до их проявления. Такой подход обеспечивает заблаговременное устранение потенциальных неисправностей и экономит ресурсы за счёт сокращения внеплановых работ.

Развитие технологии цифрового двойника сопровождается накоплением всё большего числа убедительных доказательств их пользы для промышленности. Крупные компании и промышленные гиганты уже сообщают о заметных результатах: внедрение цифровых двойников не просто сокращает непредвиденные поломки, а зачастую позволяет полностью изменить подход к эксплуатации техники.

На основе данных из источников [7-10] в отрасли транспортировки и машиностроения мировая практика демонстрирует, что внедрение цифровых двойников позволяет предотвратить от 30% до 50% внеплановых поломок, а в последствии простоев техники.

Автотранспорт переживает цифровую революцию: привычные методы диагностики и профилактики заменяются интеллектуальными системами, способными не только реагировать на проблемы, но и предвидеть их появление ещё до возникновения неисправности. Всё это становится возможным благодаря внедрению технологии цифрового двойника — инновационного инструмента, который моментально меняет правила игры в управлении автопарком. Благодаря данной технологии возможно добиться сокращению простоев транспорта, снижению расходов на внезапные ремонты, а также в целом повысит безопасность автотранспорта.

1. **Александр Дмитриевич Столяров, Владимир Владимирович Гордеев, Виктор Иванович Абрамов** ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ КАК ИНСТРУМЕНТЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ КОМПАНИЕЙ // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2024. №4 (52). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovye-dvoyniki-kak-instrumenty-povysheniya-effektivnosti-upravleniya-kompaniey> (дата обращения: 29.05.2025).
2. Цифровая трансформация предприятий с применением Low-code платформ / А. В. Остроух, Н. Г. Куфтинова, В. В. Гаевский [и др.] // СТИН. – 2022. – № 9. – С. 29-32. – EDN ISRCUS.

3. Цифровая технология, как один из методов повышения эффективности работы автозимников Арктических районов Республики Саха (Якутия) / А. Е. Иванова, А. М. Ишков, В. М. Власов, Н. А. Филиппова // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 3-2(82). – С. 137-143. – DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-2(82)-137-143. – EDN XBNAFS.
4. **Филиппова, Н. А.** Использование цифровых информационных технологий для снижения рисков при проведении автомобильных спортивных соревнований (на примере ралли) / Н. А. Филиппова, Р. В. Литвиненко // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 1-2(80). – С. 98-103. – DOI 10.33979/2073-7432-2023-2(80)-1-98-103. – EDN YTKJZP.
5. Применение цифровой инфраструктуры и телематических систем с целью повышения безопасности перевозок и дорожного движения при эксплуатации транспорта в горных условиях / Н. А. Филиппова, А. А. Абакаров, А. Т. Амиров, Ш. М. Игитов // Мир транспорта. – 2023. – Т. 21, № 4(107). – С. 62-71. – DOI 10.30932/1992-3252-2023-21-4-7. – EDN CQFZBA.
6. **Римская О. Н., Анохов И. В.** ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ЭКОНОМИКЕ ТРАНСПОРТА // СРРМ. 2021. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovye-dvoyniki-i-ih-primeneniye-v-ekonomike-transporta> (дата обращения: 29.05.2025).
7. How Digital Twin technology can enhance Aviation // ROLLS-ROYCE URL: <https://www.rolls-royce.com/media/our-stories/discover/2019/how-digital-twin-technology-can-enhance-aviation.aspx> (дата обращения: 12/05/2025).
8. Digital Twins with potential // SIEMENS URL: <https://www.siemens.com/global/en/company/stories/industry/the-digital-twin.html> (дата обращения: 12.05.2025).
9. Improving Transportation Management Systems (TMSs) Based on the Concept of Digital Twins of an Organization / A. Dorofeev, V. Kurganov, N. Filippova [et al.] // Applied Sciences (Switzerland). – 2024. – Vol. 14, No. 4. – P. 1330. – DOI 10.3390/app14041330. – EDN HEKLBU.
10. Implementation of Digital Twin for Transport and Logistic Company Using Process Mining / A. Dorofeev, V. Kurganov, M. Gryaznov [et al.] // Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East (AFE-2022) : Agricultural Cyber-Physical Systems, Ussuriysk, 29 июля 2022 года. Vol. 706-2. – Switzerland: Springer Nature Switzerland AG, 2023. – P. 615-624. – DOI 10.1007/978-3-031-36960-5_70. – EDN LLVEDH.

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКАМИ ГРУЗОПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК В ТРАНСПОРТНОЙ КОМПАНИИ

*Тульский государственный университет, г. Тула
akar06@rambler.ru*

Введение

Работа посвящена решению задачи цифровизации процесса управления заказами на трансфер пассажиров в транспортной компании [1-3].

Целью данной работы является совершенствование организации и управления грузопассажирскими перевозками в транспортной компании на основе цифровизации процессов управления [4-6].

Основная часть

Анализируется деятельность транспортной компании, образованной в конце 2019 года и основным видом деятельности которой является трансфер пассажиров из города Тулы в аэропорты города Москвы и обратно. Для автоматизации процесса оформления заказов и управления был разработан специализированный сайт в сети Интернет и осуществлен переход на систему найма водителей с личным автотранспортом.

Функциональность разработанного специализированного сайта позволяет [1]:

- клиенту выбрать интересующий его маршрут трансфера, необходимые дополнительные услуги, узнать стоимость трансфера;
- владельцам компании осуществлять автоматизированный прием заказов с предварительным расчетом стоимости трансфера, онлайн поддержку клиентов, в том числе и с использованием Телеграм-ботов.

Рассмотрим пример оформления заявки на сайте компании для трансфера 4-х человек на автомобилях разного класса из города Тула в аэропорт Домодедово [1].

На первом этапе клиент оставляет заявку. После этого сотрудник компании связывается с клиентом и согласовывает все детали поездки, включая ее цену и желаемый класс автомобиля. При этом договорная цена трансфера пассажиров определяется исходя из следующей модели [1]:

$$\S = K \cdot P \cdot M \cdot (T + Dy \cdot + Da + To + Dp),$$

где $\$$ – цена услуги, руб.; K – класс автотранспортного средства; $P=5\%$ – поправочный коэффициент, учитывающий осуществление трансфера во время Новогодних каникул; M – накладные расходы компании, руб., которые обычно равны 9-12 % цены услуги); T – затраты на бензин или дизельное топливо, руб.; Du – стоимость дополнительных услуг, включая переноску багажа, сопровождение в аэропорту и т. п., руб.; Da – добавочная стоимость в случае посадки/высадки пассажиров по различным адресам, руб.; To – стоимость ожидания посадки/высадки пассажиров, руб.; Dp – стоимость на проезде по платным участкам на маршруте, руб.

На следующем этапе водитель согласовывает с заказчиком адрес или несколько адресов посадки/высадки пассажиров, время выезда и другие детали поездки. Накануне трансфера водитель и заказчик подтверждают его реализацию. В качестве примера, на рис. 1 и 2 представлены зависимости стоимости услуги и чистой прибыли водителя при осуществлении трансфера из города Тулы в аэропорты г. Москвы (см. рис. 1) и аэропорт Домодедово (см. рис. 2) на автомобилях разного класса (уровень цен 2023 г.) [1].

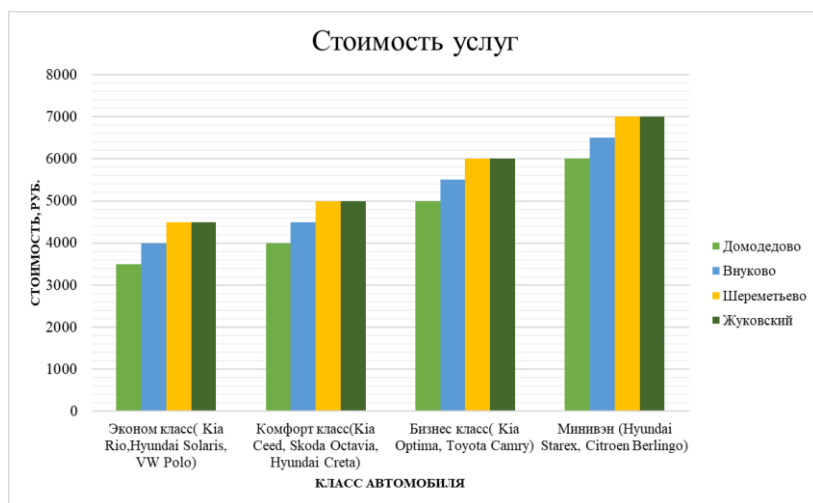


Рис. 1. Зависимость стоимости услуги при трансфере в аэропорты г. Москвы на автомобилях различного класса

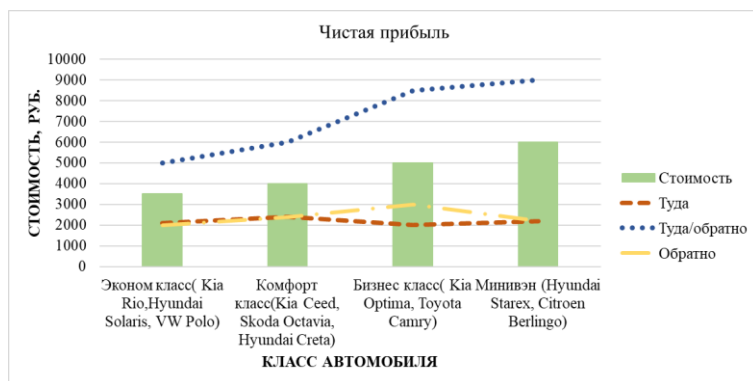


Рис. 2. Зависимость чистой прибыли водителя при трансфере в аэропорт Домодедово на автомобилях различного класса

Представленное решение задачи цифровизации процесса управления заказами на трансфер пассажиров в транспортной компании позволило достигнуть следующих результатов [1]:

- отказ от услуг агрегаторов грузопассажирских перевозок;
- привлечение и удержание в компании водителей высокого класса;
- реализация контроля технического состояния автотранспортных средств;
- реализация круглосуточной диспетчеризации процесса оформления и выполнения заказов;
- реализация лично-ориентированного подхода при обслуживании клиентов.

Заключение

В целом результаты представленной работы позволили оказать положительное влияние на развитие сферы транспортных услуг в городе Туле.

1. **Владимиров, Н.А.** Организация и управление потоками грузопассажирских перевозок в транспортной компании / Н.А. Владимиров, А.Н. Шафорост, П.В. Витчук [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 4. – С. 323-329.
2. **Зарян, А.З.** Синергетический подход при оказании сервисных услуг на транспорте / А.З. Зарян, Е.И. Павлова // Государственное

- и муниципальное управление. Ученые записки. – 2020. – № 1. – С. 76-79.
3. **Севостьянова, Е.В.** Тенденции и проблемы развития рынка автомобильных перевозок в России / Е.В. Севостьянова, А.А. Агафонова // Инновационная экономика и общество. 2019. № 1 (11). С. 50-61.
 4. **Журавлева, Н.А.** Экономическая парадигма цифровой трансформации транспортной отрасли: прибыль или затраты? / Н.А. Журавлева, В.М. Шавшуков // Экономические науки. – 2023. – № 229. – С. 75-81.
 5. **Юхин, А.И.** Оптимизация транспортно-логистических процессов транспортной компании / А.И. Юхин, А.Н. Шафорост, В.Ю. Анцев [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 2. – С. 538-545.
 6. **Агуреев, И. Е.** Системы управления транспортным поведением населения городских агломераций. Паттерны поведения, методы их распознавания / И.Е. Агуреев, А.В. Ахромешин // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2024. – № 4. – С. 57-75.

М.В. Грязнов¹, А.А. Адувалин², О.А. Пыталева³

АВТОМАТИЗАЦИЯ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАМВАЯМИ В СЛУЧАЕ АВАРИЙНОЙ ОСТАНОВКИ ДВИЖЕНИЯ

*¹Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, gm-autolab@mail.ru,*

²МП «Маггортранс», г. Магнитогорск, aduvalin@mail.ru,

*³Уральский государственный лесотехнический университет,
г. Екатеринбург, pytalevaaoa@m.usfeu.ru*

Введение

Повышение привлекательности трамвайного движения для горожан является важным условием окупаемости его государственного финансирования, а также повышения качества городской среды. Привлекательность городского трамвая для потенциальных пассажиров определяется удобством регулярной маршрутной сети и расписания его движения. Практическая реализуемость указанных условий зависит от числа вагонов на линии [1].

Чем больше это число, тем активнее трафик движения городского транспорта на маршрутной сети и меньше интервалы движения вагонов, что привлекает пассажиров. В настоящее время из государственного бюджета направляются значительные средства на обновление и развитие муниципального пассажирского транспорта [2, 3]. Вместе с тем, практически без внимания остается проблема снижения числа трамваев на линии при аварийной остановке движения.

Ежемесячно по разным причинам в крупном городе происходит 19-20 аварийных остановок трамвайного движения. Его технологическая специфика, состоящая в невозможности обгона попутных вагонов и движения по встречным путям, в наличии односторонних стрелочных переводов, обуславливает заторы из остановившихся вагонов на участках перед местом возникновения аварии. Средняя продолжительность простоя в ожидании начала движения составляет 40-60 минут, а величина затора достигает 6% общего числа вагонов на линии в период максимальной нагрузки на маршрутную сеть и 10% - в межпиковые периоды.

Потери муниципального перевозчика, связанные с недополученным доходом и прямыми расходами от простоя вагонов на линии в ожидании начала движения, превышают миллион рублей в месяц. В связи с этим, разработка эффективных средств диспетчерского управления движением трамваев в случае аварийной остановки, связанных с автоматизированным поиском оптимальных маршрутов объезда участков, на которых возник затор, и доведением этой информации до водителей представляет актуальную научно-практическую задачу.

Основная часть

Решение поставленной задачи обеспечивается разработкой компьютерной программы, определения оптимальной топологии трамвайных маршрутов после сбоя на маршрутной сети, визуализации этой информации и уведомления водителей об изменении маршрута движения. Концепция моделирования состоит в максимально возможном соответствии трасс маршрутов до и после аварийной остановки. Компьютерное моделирование производится по критерию минимума суммарной протяженности скорректированных маршрутов в прямом и в обратном направлениях.

В математической модели приняты следующие ограничения: число вагонов на участках трамвайной маршрутной сети определяется существующим расписанием движения, трафик движения по трамвайной маршрутной сети не должен блокироваться избыточным числом вагонов. Дополнительно в расчетах учитывается возможность обеспечения

стрелочными переводами левоповоротного и правоповоротного движения трамваев на пересечениях, наличие технических средств организации движения на городской дорожной сети, а также пропускная способность разворотных колец.

Из всех возможных вариантов объезда аварийного участка выбирается минимальный по протяженности маршрут, производится его сверка с текущим расписанием трамвайного движения так, чтобы на новом участке следования трамвая трафик движения не блокировался интервалом менее 2-х минут на каждый час прогноза аварийной ситуации.

В настоящее время коммуникация диспетчера с водителями трамваев производится по радиосвязи, а также с использованием бортовых навигационно-связных терминалов (БНСТ). Эти устройства многофункциональны и предназначены для определения местоположения вагона, его скорости и трека, сохранения и передачи этой информации в сеть сотовой связи, отображения алфавитно-цифровой информации, оперативного обмена текстовыми сообщениями между водителем и диспетчером.

Тем не менее, организационно-технических возможностей для надежной и эффективной коммуникации недостаточно. Например, по радиации и с помощью БНСТ невозможно провести массовую рассылку графических изображений [4]. Вариантом, обеспечивающим большую функциональность, является уведомление водителя на служебном мобильном устройстве с операционной системой Android (смартфон или планшет). Предпочтение отдано электронному планшету с сенсорным экраном, поскольку он обеспечивает больше возможностей визуализации передаваемой информации.

Все процедуры автоматизируются мобильным приложением, алгоритм которого регламентирует обмен необходимой для выбора правильного маршрута движения водителем вагона информации. Работа программы начинается с момента запуска диспетчером процедуры рассылки водителям скорректированных маршрутов движения, построенных автоматически программой с учетом актуального расписания, и продолжается до получения водителем уведомления об устранении аварии.

Предложенные рекомендации были апробированы в рамках пилотного проекта в МП «Маггортранс» (г. Магнитогорск). По итогам проведенного тестирования показатели надежности предлагаемых средств автоматизации, включая готовность оборудования к работе, функциональность и работоспособность программного обеспечения при моделировании диспетчером аварийных ситуаций и формирования им отчетов о работе, были подтверждены. По итогам было принято реше-

ние о масштабировании предлагаемых рекомендаций на весь парк вагонов. Срок окупаемости инвестиций в проведение НИР и техническое оснащение трамвайного парка равен одному году.

1. **Грязнов М.В., Якунина Н.В., Шумов К.С.** Постановка задачи оптимизации топологии городской регулярной маршрутной сети перевозки пассажиров / Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тез. докл. 82-й междунар. науч.-техн. конференции Магнитогорск: Изд-во МГТУ им. Г.И. Носова, 2024. С. 93-94.
2. **Дорофеев А.Н.** Оценка надежности автомобильного перевозчика в цифровой транспортной платформе / А.Н. Дорофеев, В.М. Курганов, А.А. Король, Д.Ю. Лим, З.З. Захаров // Мир транспорта и технологических машин. 2024. № 2-2 (85). С. 115-122.
3. **Карелина М.Ю.** Повышение эффективности работы транспортно-технологической системы / М.Ю. Карелина, Ю.Н. Ризаева, В.В. Баев, М.В. Пупышев, В.И. Карагодин, О.Н. Дидманидзе // Транспортное дело России. 2024. № 2. С. 192-196.
4. **Филиппова Н.А.** Навигационный контроль доставки грузов в условиях севера России / Н.А. Филиппова, В.М. Власов, В.М. Беляев // Мир транспорта. 2019. Т. 17. № 4 (83). С. 218-231.

Д.Н. Демьянов, В.С. Карабцев, Н.Ф. Нуртдинов

УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ ВЫСОКОАВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДОРОЖНОЙ ОБСТАНОВКИ

*ПАО «КАМАЗ»,
Казанский (Приволжский) федеральный университет,
г. Набережные Челны,
demyanovdn@mail.ru*

Введение

Одним из основных направлений развития наземного транспорта в настоящее время является повсеместное внедрение электронных систем помощи водителю [1], обеспечивающих выполнение широкого круга

задач с минимальным участием человека или в полностью автоматическом режиме (поддержание скорости, удержание в полосе движения, парковка и т.д.). При этом большой практический интерес представляет создание высокоавтоматизированных транспортных средств (ВАТС), способных выполнять задачи по транспортировке грузов без непосредственного участия человека, применение которых в перспективе может дать огромный социально-экономический и экологический эффект [2].

С 2023 года в Российской Федерации на постоянной основе организовано движение грузовых ВАТС по трассе М-11 «Москва – Санкт-Петербург». При этом опыт практической эксплуатации показал, что даже в максимально комфортных условиях (отсутствие пешеходных переходов, светофоров и т.д.) задача анализа дорожной обстановки и управления режимами движения ВАТС является чрезвычайно сложной [3]. Процесс обработки данных и принятия решений затрудняют как неполнота и неточность исходных данных (погрешности датчиков, осадки, туман, задымление и т.д.), так и значительная неопределённость поведения других участников дорожного движения (резкие изменения скорости, перестроения, опасные манёвры). В таких условиях управление работой ВАТС в режиме реального времени требует значительных аппаратных ресурсов бортовой информационно-управляющей системы, что негативно сказывается на его стоимости и надёжности.

В представленной работе рассматривается один из способов, позволяющих снизить трудоёмкость задачи анализа дорожной обстановки и управления движением ВАТС. Он основывается на предварительной идентификации и фильтрации обнаруженных объектов с учётом их типа и прогнозируемой траектории движения.

Обработка данных и формирование сигналов управления

На рисунке 1 представлена общая схема сбора, обработки и анализа данных, поступающих в бортовую информационно-управляющую систему ВАТС, а также принцип формирования управляющих сигналов.

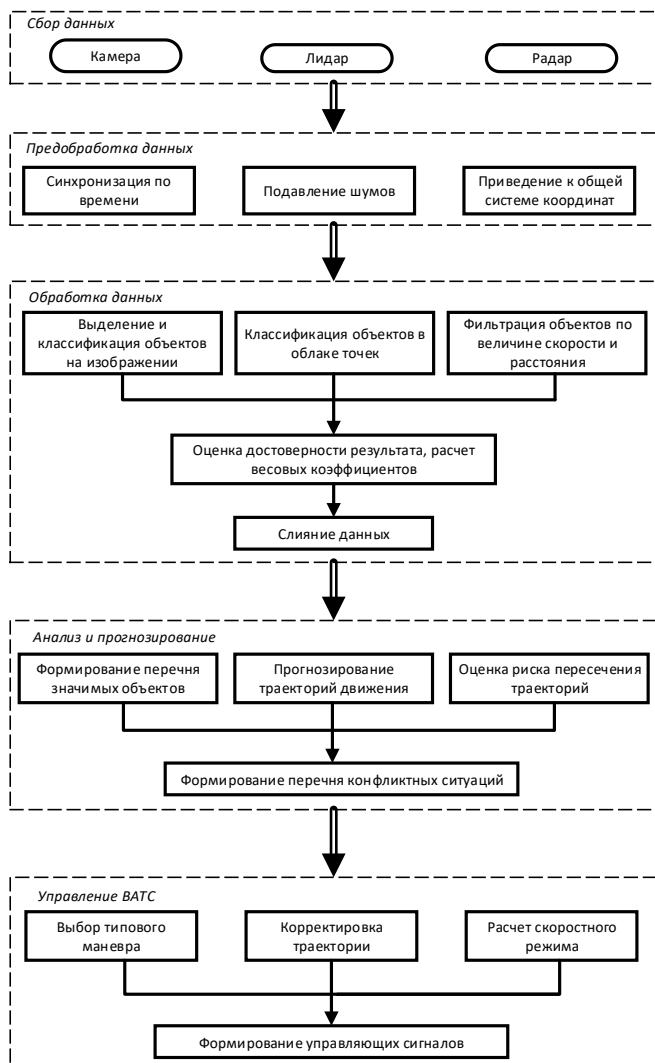


Рис. 1. Процесс обработки данных и генерации сигналов управления

С целью уменьшения вычислительных ресурсов, требуемых для эффективной работы ВАРС, в известную последовательность действий были внесены следующие изменения:

По результатам первичной обработки данных от каждого из типов датчиков проводится классификация каждого из обнаруженных объектов

путём вычисления взвешенной суммы вероятностей [4]. Дальнейший анализ производится только для объектов, отнесённых к классам «пешеход» или «автомобиль».

Траектория движения каждого из отслеживаемых объектов сглаживается с использованием фильтра Калмана и прогнозируется на временной горизонт 5 секунд с использованием LSTM [5]. Дальнейший анализ проводится с учётом только тех объектов, для которых были выявлены пересечения траекторий или опасные сближения.

Формируется перечень конфликтных ситуаций и проводится его приоритизация с учётом расстояний до объектов, скоростей сближения и оценки риска столкновения. Формируется последовательность типовых манёвров, позволяющих исключить конфликтные ситуации или минимизировать их последствия [6].

Заключение

Полученные результаты планируется использовать для уменьшения трудоёмкости задачи анализа дорожной обстановки и управления движением ВАТС, производимых ПАО «КАМАЗ», что позволит в перспективе снизить требования к аппаратной части их информационно-управляющих систем.

1. **Ендачёв, Д.В.** Электронные системы интеллектуальных транспортных средств / Д.В. Ендачёв, С.В. Бахмутов, В.В. Евграфов, Н.П. Мезенцев // Механика машин, механизмов и материалов. – 2020. – № 4(53). – С. 5–10.
2. **Блинкин, М.Я.** / М.Я. Блинкин, А.Н. Кулакова // Беспилотные автомобили: перспективы и ожидаемые последствия экспансии // Городские исследования и практики. – 2023. – Т. 8. – № 1. – С. 32–45.
3. **Гурлев, И.В.** Проблемы и перспективы развития перевозок грузов в России беспилотным автомобильным транспортом / И.В. Гурлев, О.А. Королев, А.Д. Орешкина // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2025. – № 2. – С. 40–49.
4. **Нефёдов, Д.С.** Синтез оптимального алгоритма слияния данных для системы обнаружения объектов / Д.С. Нефёдов // BIG DATA AND ADVANCED ANALYTICS. – 2019. – № 5. – С. 228–233.
5. **Деменков, Н.П.** Метод прогнозирования траектории на основе графовой модели для беспилотного вождения / Н.П. Деменков, К. Цзоу // Автоматизация. Современные технологии. – 2022. – Т. 76. – № 9. – С. 408–413.

6. **Юсупов, Д.Т.** Аналитический обзор подходов к управлению продольной и поперечной динамикой беспилотного автомобиля / Д.Т. Юсупов // Труды НАМИ. – 2023. – № 1(292). – С. 82–90.

Ф.К. Дьяков

**НЕОБХОДИМОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ КОМПЛЕКСА
ДОВОДОЧНЫХ АДАПТИВНЫХ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМ
ADVANCED DRIVER ASSISTANCE SYSTEMS (ADAS)
2го УРОВНЯ В ХОДЕ ВСЕГО ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА МОДЕЛИ**

*Московский автомобильно-дорожный государственный технический
университет (МАДИ), г. Москва, f.dyakov@tadi.ru*

Введение

Автомобили различных автопроизводителей с системой ADAS 2-го уровня уже несколько лет находятся в широкой свободной продаже в Российской Федерации. Никаких мероприятий по сертификации данных систем и адаптации их для безопасной работы в РФ не проводилось. Необходимо ввести систему доводочных адаптивных испытаний.

Основная часть

1. Несоответствие международных нормативных документов реальным условиям эксплуатации в РФ автомобилей с ADAS. На данный момент системы ADAS не подлежат ни обязательной, ни добровольной сертификации в РФ. В случае введения сертификации необходимо будет или разрабатывать свои собственные нормативные сертификационные требования, или проводить глубокую переработку существующих международных стандартов, для отражения в них реальных условий эксплуатации.

2. Выявление российских уникальных случаев небезопасной работы систем ADAS в реальных условиях эксплуатации. Единственным способом выявления уникальных случаев некорректной работы ADAS по-прежнему является проведение крупномасштабных дорожных испытаний в условиях отдельно взятого рынка. Любой автопроизводитель вынужден осуществлять такого рода мероприятия в большом объеме, в случае его заинтересованности в создании безопасной системы. Искусственно сгенерированные сценарии, используемые при имитационных испытаниях, не могут в полной мере отразить реальные уникальные условия эксплуатации в РФ.

3. Необходимость внедрения комплекса доводочных адаптационных испытаний для автомобилей с системой ADAS, выпускаемых в эксплуатацию в РФ, в ходе всего жизненного цикла модели. Для успешного вывода новой модели с системой ADAS на рынок необходимо проведение большого количества испытаний системы в течение всего жизненного цикла модели: начиная от испытаний автомобилей – аналогов на этапе разработки концепции новой модели и до начала ее продаж. Необходимо использовать трехкомпонентный подход к испытаниям, гармонично сочетая объемы каждого компонента друг с другом, широко используя при этом технологию Hardware in the loop (HIL)

4. Необходимость выявления аналитических зависимостей, описывающих реально происходящие процессы при небезопасной работе системы ADAS, для их дальнейшего использования при проектировании систем. С целью упрощения разработки и адаптации систем ADAS для локальных рынков в дальнейшем, необходимо аналитически выразить поведение системы и автомобиля в тех условиях эксплуатации, когда их поведение не безопасно. Для выполнения данной задачи необходимо широко использовать различные программные решения и методы математической статистики, базирующиеся на большом объеме экспериментальных значений.

Выводы

- Необходимо ввести систему обязательной и добровольной сертификации автомобилей, оборудованных системой ADAS в Российской Федерации

- Каждый автопроизводитель, в случае своей заинтересованности в выпуске на рынок безопасной модели, должен разработать и внедрить систему доводочных адаптационных испытаний, основанную на трехкомпонентном подходе и охватывающую весь жизненный цикл модели.

- Недопустимо сокращать долю полноразмерных дорожных испытаний, как единственный источник знаний о функционировании автомобилей с ADAS в реальных условиях эксплуатации

- Необходимо как можно шире использовать математический аппарат для выявления аналитических зависимостей, описывающих реальные процессы, происходящие с автомобилями, оснащенными ADAS.

1. **Дьяков Ф. К.** Разработка методики испытаний для оценки различных условий эксплуатации на работу оптической составляющей системы ADAS. /Дьяков Ф.К., Митрохина М.В., Алексеенков М.И.,

- Андреев А.Н., Шипорин И.М. //Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2023. №4(38).
2. **Дьяков Ф. К.** Проблема блокировки радар системы ADAS в реальных зимних условиях эксплуатации на дорогах России. Методика проведения дорожных испытаний. /Дьяков Ф.К., Андреев А.Н., Исакова М.И., Калинин А.И. // Вестник московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ).2022. №4(71). С.18-27.
 3. **Дьяков Ф. К.** Моделирование и расчет параметров систем активного контроля крена компактных транспортных средств с механизмами наклона. / Сатер., Гаевский В.В., Дьяков Ф.К. // Вестник московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ).2022. №2(69). С.42-52.
 4. **Dyakov P.K.** Mud-Snow Layer Accumulation on Adaptive Cruise Control (ACC) System Radar and Thickness Measurement of it. / Dyakov P.K., Andreev A.N., Ivanov A.M., Kalinin A.I. // 2022 System of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, SOSG 2022 – Conference Proceedings, 2022
 5. **Dyakov P.K.** Evaluation of the Joint Interaction of Automatic Emergency Braking and Adaptive Cruise Control Systems. / Kristalniy S.R., Popov N.V., Ivanov A.M., Dyakov P.K., Andreev A.N. // 2022 System of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, SOSG 2022 – Conference Proceedings, 2022.

А.И. Воробьев

**РАЗРАБОТКА ВЫСОКОАВТОМАТИЗИРОВАННЫХ
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ СРЕДНЕТОННАЖНЫХ
ГРУЗОПЕРЕВОЗОК В ВЫСОКОКОНФЛИКТНОЙ
ТРАНСПОРТНО-ДОРОЖНОЙ СРЕДЕ**

*Московский автомобильно-дорожный государственный технический
университет (МАДИ), Москва, andrey552@yandex.ru*

Введение

Высокоавтоматизированные грузовые перевозки являются перспективным направлением развития логистической отрасли, так как их внедрение позволит увеличить коммерческую скорость доставки грузов и снизить себестоимость перевозки для логистических компаний. При этом рост показателей эффективности логистических цепочек происходит как за счет автоматизации магистральных, так и региональных, а также межгородских перевозок. Основное отличие региональных и

межгородских перевозок от магистральных – это движение в высоконфликтной транспортно-дорожной среде.

Основная часть

В рамках совместной работы МАДИ и МФТИ разработано высокоавтоматизированное транспортное средство (ВАТС) на базе GAZelle e-NN. Технические средства для автономного управления GAZelle e-NN являются глубокой модернизацией аналогичных средств, реализованных в рамках других проектов, выполненных МАДИ. [1] Фактически это универсальный набор средств автоматизации, который с доработками может быть установлен и в другие автомобили.

Для автономного управления на GAZelle e-NN установлены:

- электрический усилитель руля;
- блок управления моментом тягового двигателя, позволяющий использовать рекуперацию для обеспечения более эффективного торможения и оптимизации расхода тяговой батареи электромобиля;
- блок управления средствами световой сигнализации и световыми приборами;
- блок управления селектором КПП;
- блок управления тормозной системой автомобиля, без вмешательства в работу штатной системы.

Специально для GAZelle e-NN разработан алгоритм управления, учитывающий особенности работы электромобиля. Алгоритм для автономного управления GAZelle e-NN использует информацию об окружающей транспортное средство среде, на основе которой генерирует управляющие воздействия.

Особенности работы алгоритма:

- управление замедлением как с помощью тормозной системы, так и с помощью рекуперации;
- реализация подсистемы взаимодействия с динамической цифровой картой дорожного движения (ДЦКДД), в том числе для получения информации с транспортных детекторов в режиме реального времени;
- реализация подсистемы обработки данных, полученных от внешних стационарных детекторов, влияющая на выбор маршрута движения, изменение траектории движения и предельной скорости движения;
- реализация подсистемы анализа прилегающих к перекрестку дорог, для прогнозирования конфликтности и предотвращения столкновений с ВАТС.

Важной частью процесса разработки ВАТС является проведение испытаний для подтверждения эксплуатационных характеристик. Согласно многокомпонентному подходу к испытаниям беспилотных и вы-

сокоавтоматизированных транспортных средств, предложенному в 2021 году рабочей группой WP.29 Европейской экономической комиссией Организации Объединенных Наций (ЕЭК ООН), испытания ВАТС проводятся в несколько этапов:

- аудит технической документации для ответа на вопрос: правильно ли разработчик построил систему управления ВАТС.

- различные виды испытаний: виртуальные, полигонные и дорожные, по результатам которых принимается решение о возможности опытной эксплуатации ВАТС на дорогах общего пользования.

При этом в отличие от последних двух, называемых полевыми, адекватность виртуальных испытаний сильно зависит от виртуальной среды и имитационной модели. Необходимость проведения полевых испытаний ВАТС обусловлена двумя причинами. Во-первых, это является основой для подтверждения функциональных характеристик автомобилей. То есть полевые испытания служат одним из завершающих этапов тестирования транспортных средств на обеспечение безопасности движения и подтверждение их эксплуатационных характеристик. Во-вторых, такие испытания являются единственным способом, позволяющим внутри среды штатной эксплуатации достоверно оценить функциональную безопасность алгоритмов с элементами искусственного интеллекта, основанных на искусственных нейронных сетях, которые, как известно, на текущем уровне развития науки не поддаются полному реверс-инжинирингу. [2, 3]

Разработанная технология проходила многокомпонентное тестирование в реальных условиях высокой конфликтности и рисков ДТП в рамках технологического конкурса НТИ «Пятый уровень», где каждое технологическое решение оценивалось с точки зрения надежности, безопасности, эффективности и параметров сервисного движения. Во время конкурсных заездов протестированы метод комплексирования данных для повышения точности локализации и метод построения HD-карты местности на борту автомобиля, а также апробированы комплексная сенсорная система, обеспечивающая круговой контроль пространства вокруг беспилотного автомобиля, в том числе метод 3D-компьютерного зрения для надежного распознавания препятствий в полосе движения по данным бортовых лидаров и система осуществления информационного обмена с ДЦКДД [4]. Разработанное ВАТС успешно преодолело технологический барьер среднетоннажной внутрирегиональной грузовой логистики, заключающийся в перевозке груза между терминалами по городским и загородным дорогам полностью без участия человека. За лучшую попытку суммарное расстояние составило 62 км, эксплуатационная скорость на заезде – 21,32 км/ч. Таким образом, было достигнуто обеспечение максимально безопасного и надежного сервисного движения для доставки груза.

1. Обеспечение ситуационной осведомленности для повышения надёжности движения высокоавтоматизированных транспортных средств / С. В. Жанказиев, А. И. Воробьев, Т. В. Воробьева, А. А. Ковешников // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2020. – № 4(94). – С. 27-29. – EDN PCGLYU.
2. **Жанказиев, С. В.** Технологический конкурс как прототип полигонных испытаний функциональной безопасности BATC / С. В. Жанказиев, А. И. Воробьев, А. В. Якутов // Транспорт Российской Федерации. – 2021. – № 3(94). – С. 37-39. – EDN VDEPAA.
3. **Vorobyev, L. O. Fedosova, A. V. Zolotov, D. A. Kashnikov and D. A. Shakin**, "Development of a Pedestrian Target for Testing Driver Assistance Systems," 2024 Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex (TIRVED), Moscow, Russian Federation, 2024, pp. 1-4, doi: 10.1109/TIRVED63561.2024.10769928.
4. **Vorobyev, N. S. Golubchenko, A. A. Koveshnikov, T. V. Vorobyeva and D. Y. Morozov**, "Ensuring the Safe Movement of Highly Automated Vehicles by Means of Digital Road Model Technology," 2022 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Moscow, Russian Federation, 2022, pp. 1-5, doi: 10.1109/IEEECONF53456.2022.9744261.

Е.В. Балакина, И.В. Сергиенко

ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИИ КОЛЕСНОГО НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ *

*Волгоградский государственный технический университет,
г. Волгоград,
sergienko-1993@mail.ru*

Постановка задачи

Большинство современных высокоскоростных наземных транспортных средств (ТС): легковых и грузовых автомобилей, автобусов, мотоциклов и др., перемещающихся на деформируемых опорных колесах, снабжены автоматизированной системой управления торможением

*«Исследование выполнено при финансовой поддержке ВолгГТУ (из средств программы развития «Приоритет 2030» по соглашению № 075-15-2025-063) в рамках научного проекта № 9/650-24»

(АБС). Назначение АБС – сократить тормозной путь ТС при сохранении его устойчивости движения. При этом алгоритмы управления торможением могут существенно различаться. Разными могут быть и параметры регулирования. Однако результат функционирования существующих АБС один – обеспечение требуемого значения (приближенного к максимальному) коэффициента сцепления в контакте деформируемых колес с опорной поверхностью. Как известно [1], коэффициент сцепления при разных условиях движения колеса может изменяться в широких пределах: от нуля до величины коэффициента трения покоя. Одним из его промежуточных значений является коэффициент трения скольжения. Реализуемое при работе АБС требуемое значение коэффициента сцепления соответствует критической величине 0,1...0,15 [1-4] продольного скольжения в контакте колес с опорной поверхностью. Это обеспечивает высокое значение коэффициента сцепления (около 1 на сухих асфальтобетонных покрытиях).

Для определения расчетных параметров траектории ТС (с разными целями) рассчитывают промежуточные параметры: угловые и линейные скорости опорных колес, осей и всего ТС [5-8]. Эти угловые и линейные скорости получают численным интегрированием соответствующих значений ускорений, определяемых из уравнений движения колес и ТС. При моделировании движения ТС учитывают разные явления: сцепного взаимодействия колес с опорной поверхностью, увода деформируемых колес, линейных колебаний всех колес, угловых колебаний управляемых колес, продольного и поперечного перераспределения нормальных нагрузок на колеса. В реальности эти процессы являются непрерывными, а при математическом моделировании – дискретными. Эта дискретность приводит к погрешностям вычисления параметров процессов и, как следствие, к погрешностям определения параметров движения ТС.

При этих расчетах исследователи используют величину шага интегрирования на основе обычных ограничений, как при моделировании движения ТС без АБС. Они состоят в следующем. Слишком большое значение шага расчета параметров приводит к «математическому замедлению» течения процессов в пятнах контакта колес с опорной поверхностью. Это не соответствует физике реальных законов изменения этих параметров и является источником накопления погрешностей расчетов. Поэтому шаг интегрирования выбирают как можно меньшим в соответствии с возможностями компьютера или программного продукта.

При наличии на ТС электронной системы управления торможением ситуация с влиянием шага интегрирования складывается неоднозначная. Предположительно это связано с искусственным ограничением продольного скольжения в пятне контакта колеса с опорной поверхно-

стью для увеличения коэффициента сцепления. Поскольку продольное скольжение колеса не нарастает более заданного значения, не становится полным, то и боковое скольжение колеса наступает при больших значениях боковых сил. С одной стороны это делает сцепное взаимодействие колеса с опорой более стабильным, а с другой, влияние некоторых факторов успевает проявить себя до потери устойчивости движения и управляемости ТС.

Целью данного исследования было определение возможности выбора оптимального шага интегрирования параметров движения ТС с АБС при сохранении точности и обеспечении устойчивости решения.

Методика исследования

При математическом моделировании учитывались явления: продольного и поперечного перераспределения нормальных нагрузок на колеса в разных режимах движения, увода всех колес, угловых колебаний управляемых колес и сцепного взаимодействия колес с опорной поверхностью. Общая модель движения ТС включает в себя частные модели: модель движения корпуса машины в опорной плоскости, модели движения каждого колеса как твердого деформируемого тела, модели кинематической несогласованности управляемых колес и рулевого привода, модели сцепного взаимодействия шин с опорной поверхностью, деформационные модели увода, модель угловых колебаний управляемых колес. Система уравнений математической модели составлена на основе принципа Даламбера и теоремы о скоростях точек плоской фигуры и содержит нелинейные неоднородные дифференциальные уравнения второго порядка, а также алгебраические уравнения связей.

Для обеспечения валидации математической модели (подтверждения адекватности моделируемому объекту – ТС) необходимо достичь соответствия уравнений математической модели реальному физическому объекту в рамках области планируемого использования данной модели. Валидация математической модели доказана сопоставлением результатов расчета по разработанному на ее основе программному комплексу с результатами дорожных экспериментов для того же ТС.

Проведена серия расчетов с целью определения параметров движения ТС: пути, линейных отклонений от заданной траектории, угла поворота вокруг центра масс, угловых и линейных ускорений и скоростей колес и автомобиля в режимах прямолинейного и криволинейного торможения при разных шагах интегрирования [7,8]. Результаты сравнивались с результатами дорожных экспериментов при тех же условиях движения. За рекомендуемое значение шага интегрирования прини-

малось то, при котором одноименные расчетные и экспериментальные параметры траектории совпадают в пределах допустимой погрешности.

Заключение

Определены возможности выбора оптимального шага интегрирования параметров движения ТС с автоматизированной системой управления торможением при сохранении точности и обеспечении устойчивости решения. Разработана математическая модель движения ТС, снабженного автоматизированной системой управления торможением. Создана программная реализация математической модели и подтверждена ее валидация. Проведены расчетные эксперименты по определению параметров движения ТС в разных режимах прямолинейного и криволинейного торможения при разных шагах интегрирования. Установлено, что шаг интегрирования расчетных параметров движения существенно влияет на результаты вычислений параметров траектории ТС в режимах торможения (прямолинейного и криволинейного). Направление этого влияние неоднозначно. Определено, что неустойчивость решения дают: уравнение для вычисления продольного скольжения колеса и связанное с ним уравнение тормозящего колеса.

Разработана и реализована методика получения целевой функции как результата решения задачи выбора шага интегрирования параметров движения ТС на деформируемых опорных колесах при обеспечении необходимой точности и устойчивости решения.

1. **Балакина, Е.В.** Универсальные зависимости параметров фрикционного взаимодействия в опорном контакте упругого колеса / Е.В. Балакина // Трение и износ. - 2023. — Т. 44, № 2. — С. 122—134.
2. **Hojong Lee, Min Tae Kim and Saied Taheri** (2018) Estimation of Tire-Road Contact Features Using Strain-Based Intelligent Tire. *Tire Science and Technology* 46(4) pp 276–293.
3. **Khaleghian S., Ghasemalizadeh O., Taheri S. & Flintsch G.** (2019) A Combination of Intelligent Tire and Vehicle Dynamic Based Algorithm to Estimate the Tire-Road Friction. *SAE International Journal of Passenger Cars - Mechanical Systems* 12(2). doi:10.4271/06-12-02-0007
4. **Sulakshan Rajendran, Sarah K Spurgeon, Georgios Tsampardoukas, Ric Hampson** (2018) Estimation of road frictional force and wheel slip for effective Anti-lock Braking System (ABS) control. *International Journal of Robust and Nonlinear Control* (UK) 29(2). doi: 10.1002/rnc.4366.

5. **Балакина, Е.В.** Методика выбора размеров колес на разных осях автомобиля с АБС по критерию улучшения тормозной динамики / Е.В. Балакина, И.В. Сергиенко // Автомобильная промышленность. - 2022. - № 2. - С. 23-27.
6. **Балакина, Е. В.** Методика выбора размеров колёс на разных осях автомобиля с АБС по критерию улучшения траекторной устойчивости при торможении / Е. В. Балакина, И. В. Сергиенко // Автомобильная промышленность. – 2022. – № 1. – С. 12-15.
7. **Балакина, Е.В.** Особенности численного моделирования движения колесного транспортного средства с автоматизированной системой управления торможением (Mathematical Modeling Features of the Wheeled Vehicle Movement with an Automated Braking Control System) / Е.В. Балакина, И.В. Сергиенко // Мехатроника, автоматизация, управление (Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie). - 2024. - Т. 25, № 10. - С. 537-545. - DOI: 10.17587/mau.25.537-545.
8. **Sergienko, I. V.** Numerical modeling for controlled braking process of wheeled vehicle / I. V. Sergienko, E. V. Balakina, A. A. Konshin // AIP Conference Proceedings : Proceedings of the 33rd International Conference of Young Scientists and Students “Topical Problems of Mechanical Engineering 2021” (ToPME 2021), Moscow, 30 ноября – 02 2021 года. Vol. 2697. – AIP PUBLISHING: AIP PUBLISHING, 2023. – P. 070007. – DOI 10.1063/5.0111993.

В.Н. Богумил¹, Д.Э. Касимов², М.Д. Андреева³

РАЗРАБОТКА ДИНАМИЧЕСКОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ ПО ЗАДАННОМУ МАРШРУТУ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА С РОБОТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ

*Московский автомобильно-дорожный государственный технический
университет (МАДИ), г. Москва,
v_bogumil@mail.ru¹, kasimov.jalil@yandex.ru², hossameldiba@gmail.com³*

Введение

Городской транспорт является неотъемлемой частью жизни каждого крупного населённого пункта, выполняет свою работу по заранее утверждённым маршрутам с определенными интервалами движения. Важнейшее значение имеет безопасность движения пассажирских транспортных средств. Большинство ДТП, обусловлены влиянием чело-

веческого фактора, а именно действиями водителя. Так, по данным отчета Научного центра безопасности дорожного движения ГИБДД МВД России «Как и в предыдущие годы, наибольшее количество ДТП (88,5%) совершается из-за нарушения правил дорожного движения водителями ТС» [1].

Исходя из полученных данных, специалистами в области автомобильного транспорта сделан вывод о том, что, исключая поэтапно водителя из управления транспортным средством и передавая его функции роботизированным и автоматическим системам управления, можно достичь значительного снижения уровня аварийности.

Для городского пассажирского транспорта кроме обеспечения необходимых мер по безопасности движения, другой важнейшей задачей является следование по маршруту с соблюдением планового графика движения (расписания) [2]. Данные задачи не являются тривиальными, поскольку процесс движения происходит в возмущающей внешней среде (транспортный поток, пассажиры входящие и выходящие из салона транспортного средства на остановках).

Роботизированная система управлением движением транспортных средств по заданному маршруту должна быть основана на предположении о том, что бортовая система управления содержит в памяти бортового компьютера модель маршрута, описывающую положение в пространстве каждого перегона с геодезической точностью [2]. При этом количество таких данные должно обеспечивать возможность управление движением в режиме онлайн с соблюдением графика движения и точности следования по трассе, вписываясь в параметры, заданные шириной полосы движения. Такая пространственная модель должна быть заранее подготовлена и сохранена в базе данных диспетчерской системы.

Роботизированная система управления при осуществлении движения по маршруту должна учитывать возникающие отклонения от расписания и корректировать скорость движения в пределах допустимых границ с целью уменьшения возникающих отклонений.

Основной текст

Разрабатываемый подход к созданию роботизированной системы управления городским автобусом исходит из того, что в настоящее время создание системы управления движением городского автобуса в автономном режиме невозможно по причине действия многих факторов. Поэтому ставится задача создания роботизированной системы управления, предполагающей нахождение водителя на своем рабочем месте. При практической реализации роботизированной системы управление автобусом может осуществляться в двух режимах:

- в ручном режиме;
- в автоматическом режиме.

Ручной режим следует использовать для вспомогательных технологических перемещений транспортного средства, а также при возникновении нештатных ситуаций на маршруте. Автоматический режим движения должен включаться только по команде водителя при движении на перегоне маршрута. В автоматическом режиме система управления должна обеспечить выполнение всех действий по продольному и поперечному управлению, выполнять разгон, равномерное движение, торможение. При этом движение должно осуществляться строго по расписанию. Ответственность за безопасность движения остается за водителем. Водитель должен контролировать процесс автоматического движения на перегоне маршрута и выполнение всех маневров. При необходимости водитель должен иметь возможность в любой момент вмешаться в процесс управления движением. Это вмешательство приведет к отключению автоматического режима управления.

Была разработана Диаграмма состояний роботизированной системы (рисунок 1), которая получила название автоматической системы помощи водителю автобуса [3].



Рис. 1. Диаграмма состояний роботизированной системы управления транспортным средством городского пассажирского транспорта [3]

За основу, при построении пространственной модели перегонов маршрута необходимо брать данные графа дорог, правила построения которого регламентированы в документах [4, 5, 6], которыми определено, что дуга графа дорог проходит по осевой линии, дуги графа имеют общую вершину в центре перекрестка дорог. Положение вершин графа дорог указываются на плане автомобильных дорог в локальной системе координат в метрах с точностью до двух знаков после запятой. Может также использоваться глобальная система координат. Поскольку линия модели маршрута соответствует линии, мысленно проведенной посередине полосы движения, по которой движется транспортное средство на маршруте ГПТ, определения положения прямолинейного фрагмента участка маршрута необходимо осуществить линейный перенос в выбранной системе координат в соответствии с правилами аналитической

геометрии, аналогично необходимо поступать с поворотом дороги, по которой проходит маршрут (Рисунок 2).

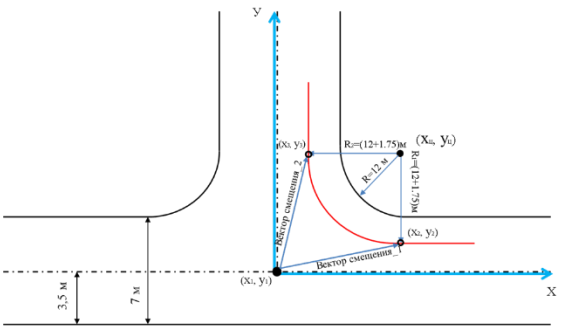


Рис. 2. Пример схемы расположения точек начала и конца элементов маршрута с круговой вставкой

Для описания участков маршрута, проходящих по участкам дорог с переменной кривизной эффективно использовать кривые Безье [7].

Для организации движения на перегоне в автоматическом режиме недостаточно иметь пространственную модель маршрута. Необходимо описать динамические характеристики движения на каждом перегоне маршрута, то есть иметь информацию о том, в какой точке пространства транспортное средство должно находиться в отдельные моменты времени, и какая должна быть скорость и направление движения в этих точках. При определении величины скорости движения на маршруте необходимо учитывать, что транспортное средство движется с ускорением при разгоне, затем движется с постоянной скоростью и затем замедляется до полной остановки. При этом максимальные величины ускорения и замедления не должны превышать установленных пределов. Для описания аналитической зависимости движения с переменной скоростью при разгоне и торможении нами были выбраны логистические кривые. Уравнение (1) показывает аналитическую зависимость скорости от времени при разгоне. График данной кривой показан на рисунке 3.

$$y = \frac{b dx}{a + b e^{p x}} \tag{1}$$

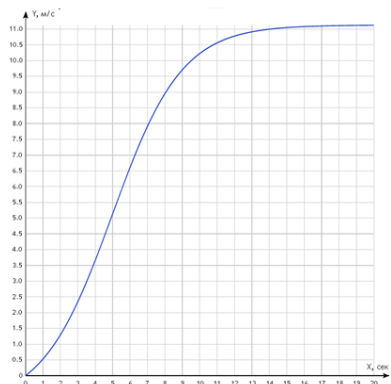


Рис. 3. Пример графика изменения скорости транспортного средства от времени по логистической кривой

Выбранная логистической кривой является интегрируемой. Значение определенного интеграла по переменной время (t) имеет вид [8]:

$$\int_0^t \frac{b}{a} t - \frac{b}{ap} \ln |a + be^{pt}| dt \quad (2)$$

Аналитическое выражение для определенного интеграла от логистической кривой позволяет рассчитывать пройденный путь за указанное время. Следующей решаемой задачей является определение местоположения транспортного средства на перегоне маршрута в указанный момент времени. С этой целью необходимо найти координаты точки, отстоящей от начала перегона на заданное расстояние, в соответствии с расписанием. Расстояние определяется интегралом (2) путем задания значения верхнего предела интеграла, т.е. времени. Если линия маршрута на перегоне моделируется прямой линией, то координаты точки находятся в пропорции от координат начала и конца участка. Положение точка на отрезке, который она делит в пропорции $m1:m2$, находится по формулам аналитической геометрии [9]:

$$x = \frac{m2x1+m1x2}{m1+m2}; \quad y = \frac{m2y1+m1y2}{m1+m2}, \quad (3)$$

где $(x1, y1)$ – координаты точки начала участка; $(x2, y2)$ – координаты точки конца участка.

Координаты могут выражаться как в локальных, так и глобальных координатах.

Положение точке на криволинейных участках маршрута, моделируемых дугами окружности заданного радиуса, находится путем нахождения координаты точки на дуге окружности, находящейся на известном расстоянии от начала дуги, которое находится исходя из заданной

скорости движения и времени движения по дуге окружности. Схема определения местоположения точки на дуге окружности с центральным углом равным 90° показана на рисунке 4.

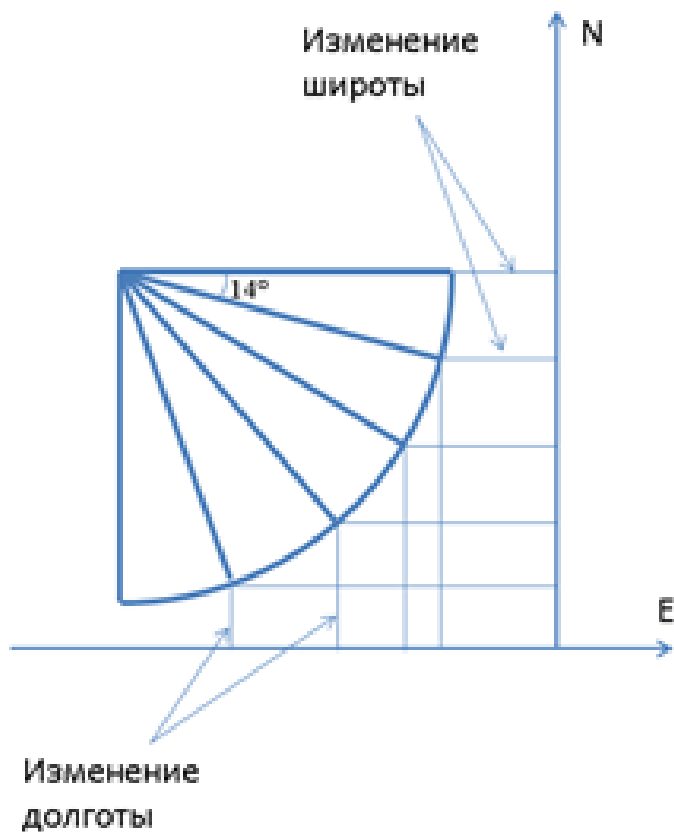


Рис. 4. Схема определения координат точек местоположения транспортного средства на повороте, представленным дугой окружности заданного радиуса

Практическая апробация разработанного подхода выполнена на примере автобусного маршрута № 662 ГУП Мосгортранс города Москвы. Схема участка трассы маршрута динамические характеристики которого были рассчитаны, представлена на рисунке 5.



Рис. 5. Схема участка трассы автобусного маршрута
№ 662 ГУП Мосгортранс

Были получены расчетные данные, сведенные в таблицу. Периодичность расчета координат равна 2 секунды. Скорость движения рассчитывается на основе планового времени движения на перегоне и длины перегона В таблице 1 представлены параметры фрагмента движения транспортного средства на перегоне «Ивановское – ул. Сталеваров,10».

Таблица 1

Рассчитанные координаты местоположения транспортного средства на перегоне «Ивановское – ул. Сталеваров,10» маршрута № 662 ГУП Мосгортранс»

Время движения от начала перегона, сек.	Длина пути от начала перегона, м	Широта	Долгота	m1	m2
0		55,766433	37,839908		
2	1,41	55,766420	37,839908	1,41	463,59
4	5,97	55,766379	37,839907	5,97	459,03
6	16,43	55,766284	37,839904	16,43	448,57
8	32,56	55,766139	37,839900	32,56	432,44

Заключение

Разработан подход к созданию динамической пространственной модели маршрута транспортного средства городского пассажирского транспорта с роботизированной системой управления, содержащей пространственные и динамические параметры движения, согласованные с расписанием. Такая модель позволяет роботизированной системе управления двигаться по трассе маршрута с заданной скоростью, определяемой расписанием. Информацией для роботизированной системы управления является положение транспортного средства в выбранной системе координат в любой заданный момент времени. Вектор направления движения определяется положением начала и конца очередного отрезка пути, определяемого с заданной периодичностью.

1. Обзор дорожно-транспортной аварийности в Российской Федерации за 6 месяцев 2024 года <https://нцбдд.мвд.рф/news/item/53521532/>
2. **V. N. Bogumil, and J. E. Kasimov**, “Development of the Architecture of the On-Board Assistance System for the Driver of a City Bus Based on the Use of a Fuzzy Logic Apparatus,” presented at the 2022 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Commu-

- nications, SOSG 2022 - Conference Proceedings, 2022, doi: 10.1109/IEEECONF53456.2022.9744390.
3. **V.N. Bogumil, and M. J. Duque**, "Automated regulation of intervals for bus rapid transit routes," Science Journal of Transportation, no. 10, pp. 23-31, 2020, ISSN 2410-9088.
 4. Федеральный закон от 30.12.2015 N 431-ФЗ "О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации"
 5. ГОСТ 21.701—2013 Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации автомобильных дорог
 6. СП 42.13330.2016 Свод правил. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений
 7. **Елугачев, П. А.** Пространственное трассирование автомобильных дорог кривыми Безье [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11 / П. А. Елугачев. - М. : 2007.
 8. **Двайт Г.Б.** Таблицы интегралов и другие математические формулы. М., 1978 г., 228 стр.
 9. **Деменева Н.В.** Аналитическая геометрия. Прямая линия на плоскости. – Пермь: ИПЦ "Прокрость", 2019 – 196 с.

С.Ю. Фирсова, А.В. Куликов

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗОК СТРОИТЕЛЬНЫХ ГРУЗОВ НА ЖИЛИЩНО-ГРАЖДАНСКИЕ ОБЪЕКТЫ

*Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ),
г. Волгоград, e-mail: firsova.svetlana@mail.ru*

Введение

Строительство жилых домов является одной из самых материало-емких сфер производства. При возведении жилого здания выполняются транспортные и погрузо-разгрузочные работы, связанные с перевозкой материалов от места изготовления до строительной площадки.

Авторами разработана интеллектуальная транспортная система для эффективной организации работы автомобильного транспорта в жилищно-строительной сфере. В интеллектуальной системе основная роль возлагается на транспортно-логистический центр строительства, обеспечивающий эффективное взаимодействие всех входящих компонентов.

Основными компонентами данной системы являются разработанные интерактивные программы, которые предоставляют базовый функционал для управления данными о логистических материальных, информационных, финансовых и кадровых потоках и их хранения в базе данных. Функционирование транспортно-логистического центра строительства представляется авторами в виде разработанной онтологической модели, обеспечивающей связь всех компонентов с искусственным интеллектом.

Основная часть

В работе проведен анализ данных по неравномерностям объемов перевозок в соответствии с календарным планам строительства многоэтажных зданий различных типов. Интеллектуальная система функционирования транспорта при строительстве жилищно-гражданских объектов разрабатывалась в виде онтологической модели. Разработка веб-приложений производилась в соответствии с функциональными и нефункциональными требованиями к интеллектуальной системе на основании предложенного технологического стека. Онтологическая модель интеллектуальной транспортной системы включает динамическую модель соотношения грузопотока и провозной возможности транспортного комплекса, организованного для строительства жилищных объектов. За критерий оптимальности функционирования динамической модели принимаются минимальные потери, связанные с перевозкой строительного груза, в результате обеспечения рационального уровня провозной возможности [1].

Интеллектуальная система функционирования транспорта при строительстве жилищно-гражданских объектов основная роль возлагается на транспортно-логистический центр строительства, обеспечивающий эффективное взаимодействие всех компонентов системы (рисунок 1).



Рис. 1. Интеллектуальная система функционирования транспорта при строительстве жилищно-гражданских объектов

Структурными компонентами предлагаемой интеллектуальной системы являются программные продукты получившие государственную регистрацию и позволяющие осуществлять поиск данных: о неравномерностях объемов перевозок грузов в соответствии с календарным планом строительства (Дом); о водителях, выполняющих перевозку грузов (Водитель); о качестве обучения курсантов и переобучения водителей автошкол и автотранспортных предприятий для формирования показателей жизненного цикла водителя (БДД); о поставщиках различных видов грузов (Поставщик); о партии груза по коду мультиметки в мультимодальных системах доставки строительных грузов (Метка); о работе грузового автомобильного транспорта (Транспорт); о техническом обслуживании и ремонте грузовых автомобилей, выполняющих перевозку строительных грузов (ТО и ТР); о кадровом составе комплексного автотранспортного предприятия, занимающегося всеми видами ТО и ТР (ОК) [2-7].

В современных условиях на каждом системном уровне (микро-, мезо- и макроуровень) требуется применение интеллектуальных систем, основанных на искусственном интеллекте.

Программные модули интеллектуальной транспортной системы позволяют определить режимы работы функциональных компонентов транспортно-логистического центра строительства для обеспечения эффективной организации работы автомобильного транспорта в жилищно-строительной сфере.

1. **Фирсова, С. Ю.** Применение интеллектуальной транспортной системы при организации перевозок грузов автомобильным транспортом в сфере жилищного строительства / С. Ю. Фирсова, А. В. Куликов, С. А. Ширяев // XVI Всероссийская мультikonференция по проблемам управления (МКПУ-2023) : материалы мультikonференции. В 4 т., Волгоград, 11–15 сентября 2023 года. Том 4. – Волгоград: ВолгГТУ, 2023. – С. 241-245.
2. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2025617963 РФ. Веб-приложение по планированию объемов перевозок грузов в соответствии с календарным планом строительства жилого объекта : заявл. 01.04.2025 : опубл. 03.04.2025 / С. Ю. Фирсова, А. В. Куликов ; заявитель ФГБОУ ВО ВолгГТУ.
3. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2025617880 Российская Федерация. Веб-приложение по поиску данных о водителях автотранспортных средств и поставщиках различных видов грузов : заявл. 31.03.2025 : опубл. 02.04.2025 / С. Ю. Фирсова, А. В. Куликов, П. А. Павлов [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВО ВолгГТУ.

4. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2025616585 Российской Федерация. Веб-приложение по поиску данных о поставщиках различных видов грузов : заявл. 18.03.2025 : опубл. 18.03.2025 / А. В. Куликов, С. Ю. Фирсова, П. А. Павлов [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВО ВолгГТУ.
5. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2025616580 РФ. Веб-приложение для поиска партии груза по коду мультиметки в мультимодальных системах доставки грузов : заявл. 18.03.2025 : опубл. 18.03.2025 / С. Ю. Фирсова, А. В. Куликов, А. А. Фирсова, А. А. Куликов ; заявитель ФГБОУ ВО ВолгГТУ.
6. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2025662917 Российская Федерация. Веб-приложение учета работы грузового автомобильного транспорта в логистической системе строительства жилищно-гражданских объектов : заявл. 23.05.2025 : опубл. 23.05.2025 / А. В. Куликов, С. Ю. Фирсова, А. А. Фирсова, А. А. Куликов ; заявитель ФГБОУ ВО ВолгГТУ.
7. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2025665340 от 17июня 2025 г. РФ. Веб-приложение по планированию технического обслуживания и ремонта парка грузовых автомобилей, выполняющих междугородные перевозки строительных грузов / А.В. Куликов, С.Ю. Фирсова, Е.О. Сапронов, А.А. Фирсова, А.А. Куликов; ФГБОУ ВО ВолгГТУ.

Н.А. Филиппова^{1,2}, А.В. Франц²

**МОНИТОРИНГ ЦИФРОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ
ПО ДОСТАВКЕ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА
ПО АВТОЗИМНИКАМ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ
В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ НАЗЕМНЫМ ТРАНСПОРТОМ**

*¹Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова,
г. Якутск, E-mail: imen@bk.ru*

*²Московский автомобильно-дорожный государственный технический
университет (МАДИ), г. Москва, E-mail: vadim.frants@yandex.ru*

Введение

Мониторинг цифровой инфраструктуры по доставке дизельного топлива по автозимникам Арктической зоны [1,2] России является важным аспектом системы управления наземным транспортом, поскольку обеспечение бесперебойности поставок грузов играет ключевую роль в функционировании удаленных арктических регионов. В данной работе

будет рассмотрен пример реализации системы мониторинга в Республике Коми и Ненецком автономном округе. В данных регионах осуществляется доставка грузов на нефтяные месторождения [3] в зимнее время. В связи с тем, что объекты почти весь год автономные, вопрос завоза дизельного топлива является критичным.

Основная часть

Доставка топлив на нефтяные месторождения данных регионов, которые расположены в арктической зоне России, осуществляется с города Усинск. Максимальное плечо перевозки 500 км.

Ключевой особенностью данных перевозок с точки зрения систем мониторинга является то, что почти на всем маршруте следования связь находится на уровне стандарта «EDGE», либо полное отсутствие связи [4].

По причине того, что средняя скорость передачи данных для данного стандарта связи составляет 200 кб/с – это накладывает серьезные ограничения на объем передаваемых пакетов данных.

Поэтому провайдеры данных систем мониторинга передают только критически важные данные [5].

Абстрактная схема работы системы представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Абстрактная блок-схема работы системы мониторинга

Для сбора данных используется блок обработки данных, датчики уровня топлива в баках и антенна с большей зоной захвата [6,7]. Последняя применяется для увеличения зоны передачи сигнала [8]. При сборе данных собираются:

- широта и долгота,
- данные по напряжению бортовой системы,
- время включения и выключения зажигания,
- показатели с датчиков уровня топлива,
- информация о включении дифференциала отбора мощности.

По этим собранным данным на этапе обработки данных вычисляются:

- маршрут движения транспортного средства,
- время работы двигателя,
- уровни топлив в баках,
- сливы и заправки топлива,
- работа верхнего оборудования, в нашем случае работа насосов по перекачке топлива.

На последнем этапе диспетчер обрабатывает полученную информацию.

У данной системы есть пара проблем:

- на этапе обработки данных каждый продукт от разных поставщиков услуг интерпретирует сырые данные по-своему, что приводит к разным результатам,
- наличие слепых зон на маршруте, по причине отсутствия связи, что не позволяет следить за транспортом в реальном времени.

Данные проблемы решаются 2 способами:

- установкой вышек мобильной связи 4G на маршруте следования,
- использование спутникового интернета на каждом транспортном средстве.

Применение данных систем передачи данных позволит расширить канал передачи данных до 30-100 мб/с.

При выполнении какого-либо из этих требований расширяется канал передачи данных, что позволит передавать больше данных с оборудования, что нивелирует расхождения в обработке сырых данных, а также передача данных будет происходить в реальном времени, что позволит решать чрезвычайные ситуации более оперативно.

Заключение

Исходя из всего вышесказанного, исследование подтвердило высокий потенциал развития систем мониторинга за транспортными средствами в Арктических зонах, но также выявлены часть их проблем, которые решаются путем расширения канала передачи данных [9].

В дополнении хотелось бы добавить то, что расширению канала передачи данных позволит реализовать систему контроля за водителем основанной на системе машинного зрения, что в перспективе может повысить безопасность арктических перевозок.

1. Цифровая технология, как один из методов повышения эффективности работы автозимников Арктических районов Республики Саха (Якутия) / А. Е. Иванова, А. М. Ишков, В. М. Власов, Н. А. Филиппова // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 3-2(82). – С. 137-143. – DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-2(82)-137-143. – EDN XBNAFS.
2. **Иовлева, Е. Л.** Обеспечение устойчивости транспортной мобильности доставки грузов северного завоза / Е. Л. Иовлева, Н. А. Филиппова, А. А. Неретин // Мир транспорта и технологических машин. – 2025. – № 1-3(88). – С. 137-143. – DOI 10.33979/2073-7432-2025-1-3(88)-137-143. – EDN IVJSH.
3. **Иовлева, Е. Л.** Получение низкозастывающего дизельного топлива для надёжной работы техники в районах Крайнего Севера и Арктики / Е. Л. Иовлева, М. П. Лебедев, Н. А. Филиппова // Мир транспорта. – 2022. – Т. 20, № 6(103). – С. 14-17. – DOI 10.30932/1992-3252-2022-20-6-2. – EDN EELXHU.
4. **Филиппова, Н. А.** Информационные технологии управления транспортными системами в арктической зоне Российской Федерации для обеспечения продовольственной безопасности / Н. А. Филиппова, С. Ф. Степанов // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 3-2(86). – С. 3-9. – DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-2(86)-3-9. – EDN JTFOMI.
5. **Власов, В. М.** Управление перевозками грузов в мультимодальной транспортной системе на основе информационных технологий / В. М. Власов, Н. А. Филиппова // Деловой журнал Neftegaz.RU. – 2024. – № 4(148). – С. 52-55. – EDN XPJAUQ.
6. **Филиппова, Н. А.** Системное обеспечение автомобильных грузовых перевозок в северные районы / Н. А. Филиппова, Д. Б. Ефименко, А. А. Ледовский // Мир транспорта. – 2018. – Т. 16, № 6(79). – С. 100-113. – EDN YTFSYX.
7. Основные факторы, влияющие на мультимодальную транспортную систему / М. Л. Пономарев, Н. А. Филиппова, А. Ю. Великанов, А. А. Неретин // Мир транспорта. – 2021. – Т. 19, № 5(96). – С. 69-74. – DOI 10.30932/1992-3252-2021-19-5-8. – EDN BOJOVN.

8. **Филиппова, Н. А.** Транспортные системы и дорожная инфраструктура севера / Н. А. Филиппова // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2022. – № 3. – С. 1-2. – EDN MCCTDQ.
9. **Филиппова, Н. А.** Научные пути решения проблем организации и планирования перевозок грузов в районы Крайнего Севера и арктические зоны России / Н. А. Филиппова // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2024. – № 2. – С. 11-22. – DOI 10.25198/2077-7175-2024-2-11. – EDN NWBZUF.

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Абакаров А.А. – 52
Агуреев И.Е. – 236
Адувалин А.А. – 249
Алероев М.Т. – 196
Алешко Р.А. – 107
Андреева М.Д. – 265
Аникеев И.А. – 228
Анцев В.Ю. – 246

Б

Бакалов М.В. – 156, 159
Балакина Е.В. – 119, 261
Богачук И.С. – 242
Богумил В.Н. – 265
Боковня Д.Р. – 139
Борисов Д.С. – 169
Бузунов Н.В. – 109
Блохин А.Н. – 188

В

Васенин С.А. – 93
Васильев Ю.Э. – 204
Васильев П.Ф. – 208
Владимиров Н.А. – 246
Власов В.М. – 15, 239
Воробьев А.И. – 76, 258
Воропаев А.И. – 33

Г

Газизуллин Р.Л. – 89
Галицкая А.В. – 78
Галузин В.А. – 78
Гечекбаев Ш.Д. – 52
Гойдин О.П. – 102
Горелов В.А. – 126
Горынин А.Д. – 246
Гречушкин Ю.В. – 122
Григоров Д.Е. – 59, 63
Гринкевич Н.А. – 188, 231

Грязнов М.В. – 249

Д

Демьянов Д.Н. – 252

Денисенко И.К. – 119

Дьяков Ф.К. – 256

Е

Епифанов О.К. – 122

Ефимов Н.К. – 208

Ж

Жанказиев С.В. – 28

З

Задорожний В.М. – 156, 159

Замыцких А.В. – 28

Зыбин П.В. – 129

Зырянов И.В. – 208

И

Игитов Ш.М. – 52

Илюхин А.Н. – 112

К

Калмыков В.К. – 188, 231

Каляев А.И. – 81

Капский Д.В. – 142

Карабцев В.С. – 252

Касимов Д.Э. – 265

Келлер А.В. – 96

Климов А.В. – 96

Колесников В.И. – 33

Колесников И.В. – 33

Колесников М.В. – 156, 159

Коржова А.В. – 142

Корнилов С.В. – 217

Коротеева Т.Н. – 159

Косицын Б.Б. – 89, 102, 129

Котиев Г.О. – 22, 89, 109, 126

Кудряков О.В. – 33

Кудряшов М.А. – 146
Кузьменко В.Н. – 142
Кулик А.А. – 41
Куликов А.В. – 47, 273
Куренков П.В. – 139, 169, 174, 242

Л

Ларин О.Н. – 84
Лемешкова А.В. – 44
Лю Исинь – 41, 153

М

Маврин Г.В. – 217
Малазони Г.Ш. – 204
Малыгин И.Г. – 44
Мамедов М.Р. – 231
Маркаров А.И. – 76
Марусин П.С. – 33
Матюнина А.И. – 84
Менькина У.О. – 196
Мизиев М.М. – 174
Мокрецов Н.А. – 180
Мярин А.Н. – 208

Н

Неусыпин К.А. – 153
Никитаев М.М. – 204
Нифонтов К.Р. – 208
Новиков Е.С. – 33
Нуртдинов Н.Ф. – 252

О

Оганян Э.А. – 99

П

Петров Д.Н. – 107
Подзоров А.В. – 69
Полешкина И.О. – 149
Политыко К.Н. – 33
Попов А.В. – 96
Пирмагомедов И.Р. – 52
Преображенский Д.А. – 139

Приходько В.М. – 15, 204

Прокофьев Д.В. – 22

Пугачев И.Н. – 59, 63

Пыталева О.А. – 249

Р

Реев В.Г. – 208

Решмин С.А. – 93

Рунец Р.С. – 165

С

Савушкин С.А. – 44

Сарбаев Д.С. – 119

Селезнева М.С. – 153

Семенов В.Е. – 81

Сергиенко И.В. – 261

Серов В.А. – 115

Сироткин М.А. – 242

Стадухин А.А. – 102, 180

Т

Таташев А.Г. – 196

Тимофеев В.М. – 208

Трофименко Ю.В. – 47, 165, 185

У

Устинов С.А. – 115

Ф

Фазуллин Д.Д. – 217

Фефилов А.Н. – 220

Филиппова Н.А. – 15, 52, 142, 231, 239, 276

Фирсова С.Ю. – 273

Франц В.А. – 276

Фу Ли – 149

Х

Хаолин Инь – 93

Хмелев Р.Н. – 99

Храпова Н.И. – 159

Ц

Цзюй Ичэнь – 41, 153

Цыганов В.В. – 44

Ч

Ченцов А.А. – 149

Ченцов А.Г. – 149

Ченцов П.А. – 149

Черкасова Д.О. – 174

Ш

Шадрин С.С. – 96

Шафорост А.Н. – 246

Шелков Г.С. – 169

Шешера Н.Г. – 59, 63

Шкарупелов Е.С. – 126

Шошина К.В. – 107

Шурыгин В.А. – 25, 115

Э

Энглези И.П. – 191

Я

Яшина М.В. – 146, 196

Научное издание

**XVIII ВСЕРОССИЙСКАЯ
МУЛЬТИКОНФЕРЕНЦИЯ ПО
ПРОБЛЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ**
(МКПУ–2025)

(15 сентября – 20 сентября 2025 г.)

Том 4

***УПРАВЛЕНИЕ В ПЕРСПЕКТИВНЫХ
НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ
СИСТЕМАХ (УПНТС–2025)***

Авторские редактирование
и художественное оформление

Принято 19.08. 2025. Подписано в печать 25.08.2025

Формат бумаги 70×100 1/16. Бумага офсетная

Усл. печ. л. 21, 6

Тираж 500 экз. (1-й з-д 1 –200). Заказ 000

Отпечатано в Издательстве ТулГУ
300012, г. Тула, просп. Ленина, 95