

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Г.Ф. МОРОЗОВА»

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ, ИННОВАЦИИ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ НА ТРАНСПОРТЕ – 2025

Материалы Международной молодежной научно-практической  
конференции, посвященной 95-летию ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова

Воронеж, 23–24 октября 2025 года

Воронеж 2025

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION  
OF THE RUSSIAN FEDERATION  
FEDERAL STATE BUDGET EDUCATIONAL INSTITUTION  
OF HIGHER EDUCATION  
«VORONEZH STATE UNIVERSITY OF FORESTRY  
AND TECHNOLOGIES NAMED AFTER G.F. MOROZOV»

MODERN SYSTEMS AND TECHNOLOGIES IN TRANSPORT:  
PROBLEMS AND PROSPECTS – 2025

Materials of the International Scientific and Practical Conference,  
dedicated to the 95th anniversary of the Morozov VSUFT

Voronezh, October 23-24, 2025

Voronezh 2025

УДК 629.331+001.895  
П27

**П27** Перспективы развития, инновации и информационные технологии на транспорте – 2025 : материалы Международной молодежной научно-практической конференции, посвященной 95-летию ВГЛТУ им. Г. Ф. Морозова / отв. ред. Д. А. Жайворонок ; М-во науки и высшего образования РФ, ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». – Воронеж, 2025. – 317 с. – URL: <https://vgltu.ru/nauka/konferencii/2025/perspektivy-razvitiya-innovacii-i-informacionnye-tehnologii-na-transporte/>. – Текст : электронный.

ISBN 978-5-7994-1210-4

В сборнике представлены материалы Международной молодежной научно-практической конференции «Перспективы развития, инновации и информационные технологии на транспорте – 2025», посвященной 95-летию ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова, прошедшей в г. Воронеже 23–24 апреля 2025 года.

Материалы конференции предназначены для специалистов автомобильной отрасли, информационных технологий и широкого круга читателей.

УДК 629.331+001.895

ISBN 978-5-7994-1210-4

© ФГБОУ ВО «ВГЛТУ», 2025

## СОДЕРЖАНИЕ

### Секция 1 Цифровые и информационные технологии управления транспортными системами, транспортная телематика

<b>А. А. Башмаков, С.С. Евтюков.</b> Альтернативные методы определения местоположения транспортных средств в условиях низкой стабильности приёма данных глобальных навигационных спутниковых систем .....	7
<b>Н. В. Загоруйко, В. М. Власов.</b> Комплексный подход к повышению эффективности спутниковой связи и точности метеопрогнозов в условиях высоких широт .....	13
<b>К. А. Закурдаева, А.В. Будуруков, А. А. Яровенко, А. А. Колыхалова, В. Б. Анисимова.</b> Транспортно-психологические аспекты взаимодействия водителя и автоматизированного управления автомобилем.....	17
<b>Н. Н. Паринов, Д. В. Лихачев, А. Ю. Артемов, Е. В. Чирков.</b> Клеточно-автоматная модель взаимодействия водителя и пешехода на перекрестке в условиях нарушения ПДД.....	22
<b>Джованнис Симос, В.И Сарбаев.</b> Прогнозирование сезонного спроса на запасные части в мультибрендовых автосервисах островной экономики: подход на основе данных (Кипр) .....	28
<b>А. А. Штепа.</b> Концептуальные основы системы транспортного обслуживания региона.....	33

### Секция 2. Интеллектуальные транспортные системы, искусственный интеллект на транспорте

<b>Н. Ю. Митяков, Ю. Н. Ризаева.</b> Цифровые технологии в логистике и на транспорте .....	38
<b>Hao W., O. U. Bulatova, A. A. Feofilova.</b> Its multi-level architecture for optimizing transportation services for mass events in an urban environment.....	44
<b>A. A. Feofilova, L. Hu.</b> Transport system resilience in emergencies .....	50
<b>Yu X., O. U. Bulatova, A. A. Feofilova.</b> Development of a local its project architecture for solving rural areas transport accessibility .....	55
<b>С. А. Бабкин, А. В. Кочегаров, А. А. Карбина.</b> Оценка возможности применения предложенного оборудования для центра мониторинга сил и средств.....	61
<b>О. В. Сторожева, С. В. Дорохин, А. А. Чепрасова.</b> Развитие интеллектуальных транспортных систем в городах-миллионниках России: успехи и препятствия.....	70
<b>Д. С. Корчагин, С. С. Евтюков.</b> Совершенствование методов мониторинга пассажиропотоков на основе интеграции данных интеллектуальных транспортных систем и телематических платформ .....	73

### Секция 3 Безопасность дорожного движения

<b>Э. Н. Бусарин, Р. А. Кораблев, А. Э. Бусарина, М. В. Блинова.</b> К вопросу повышения безопасности дорожного движения пользователей средств индивидуальной мобильности (СИМ) .....	77
<b>С. В. Дорохин, Р. В. Мороз.</b> Дефицит парковочных мест: причины, последствия и пути решения.....	81



<b>Н. В. Зеликова, И. Ю. Струкова, Г. Н. Климова, Ю. В. Струков, Е. В. Шаталов.</b> О факторах, влияющих на организацию дорожного движения в городе Воронеже .....	86
<b>А. С. Лукьянов, Д. С. Бошина, Н. Е. Фомин.</b> Анализ инновационных технологий навигационной аппаратуры потребителей в деятельности органов внутренних дел .....	90
<b>О. В. Лебедева, А. С. Лукьянов, Е. Д. Утенкова.</b> Анализ современных технологий для фиксации правонарушений в области дорожного движения .....	95
<b>А. С. Лукьянов, В. С. Марикина, Е. А. Сагитова.</b> Перспектива развития и применение технологий LTE на транспорте .....	99
<b>К. О. Румянцева, А. С. Семькина, Л. В. Орлов.</b> Безопасность движения на скоростных автомагистралях и трассах .....	102
<b>И. Ю. Струкова, В. А. Зеликов, Г. А. Денисов, В. В. Стасюк, М. Н. Казачек.</b> Анализ организации дорожного движения на перекрестке ленинский проспект–улица Брусилова в городе Воронеже .....	107
<b>А. А. Штепа, Н. В. Зеликова, Ю. В. Щедрина.</b> Повышение безопасности дорожного движения на перекрестке путем комплексной организации движения и внедрения светофорного регулирования .....	110
<b>Е. А. Ануфриев, С. А. Евтюков, К. А. Ануфриев.</b> Инновационные решения в диагностике автомобильных дорог для повышения безопасности движения .....	116
<b>А. Н. Лукьянова.</b> Патрулирование дорожного движения с помощью БПЛА: обнаружение и отслеживание дорог .....	122
<b>А.Р. Романихин, В.С. Волков С.В. Дорохин.</b> К вопросу о безопасности дорожного движения .....	126

#### **Секция 4 Инновационные технологии в транспортном комплексе**

<b>И. В. Ворожейкин, Д. А. Петрова.</b> Совершенствование метода определения годных остатков транспортных средств при проведении автовароведческой экспертизы .....	130
<b>И. В. Ворожейкин, Д. В. Сокол.</b> Совершенствование метода определения ремонтных воздействий для запасных частей транспортных средств при проведении автовароведческих экспертиз .....	134
<b>С. В. Дорохин, Н. А. Азарова.</b> Перспективы развития инноваций и цифровой трансформации мирового рынка транспортных услуг .....	139
<b>А. Р. Глушанков, С. В. Дорохин.</b> Перспективы применения искусственного интеллекта в оптимизации транспортных маршрутов .....	144
<b>Н. А. Пеньков, М. А. Прокофьев.</b> Сравнительный анализ систем автоматического регулирования переменного тока в передвижных электроагрегатах АПА–5Д и АПА–100 .....	148
<b>А. С. Гришин, В. И. Сарбаев, Джованис Симос.</b> Повышение эффективности имитационной модели автосервиса путем внедрения блока запасных частей .....	152

#### **Секция 5 Энергоэффективные технические решения для автомобильного транспорта**

<b>А. А. Башмаков, С. С. Евтюков.</b> Альтернативные методы определения местоположения транспортных средств в условиях низкой стабильности приёма данных глобальных навигационных спутниковых систем .....	157
--	-----

<b>Е. В. Снятков, В. А. Чухлебов, В. А. Гаркуша, В. И. Кылчик, М. С. Судаков.</b> Исследование причин масляного голодания ДВС автомобиля AUDI Q7 после проведенного восстановительного ремонта .....	163
<b>В. О. Никонов, В. И. Посметьев.</b> Анализ эффективности систем рекуперативного торможения легковых автомобилей .....	171
<b>В. О. Никонов, В. И. Посметьев.</b> Оценка эффективности электромагнитных рекуперативных амортизаторов в подвеске легкового автомобиля .....	181
<b>В. И. Посметьев, В. О. Никонов, М. А. Савинков.</b> Анализ потенциальных возможностей использования систем рекуперации энергии в транспортно-технологических машинах .....	190
<b>И. В. Терехина, Ф. А. Шакина, С. А. Швырев, В.С. Волков, Д. А. Жайворонок.</b> Синергия силовых агрегатов и легких материалов как новый рубеж энергоэффективности автотранспортного средства .....	204

## **Секция 6 Альтернативные источники энергии на транспорте**

<b>А. С. Толстова, С. А. Толстов, С. Л. Панченко, С. В. Внукова.</b> Ввод насыщенного влажного воздуха в топливовоздушную смесь ДВС как способ снижения токсичности выхлопных газов .....	209
<b>А. Б. Гасанов, Ф. В. Котелевский.</b> Оценка развития сети электрозаправочных станций в России .....	215
<b>С. Ю. Кащенко, Р. А. Кораблев, Э. Н. Бусарин, А. Д. Голев, А. Э. Бусарина.</b> Снижение шума автотранспорта в городских условиях .....	222
<b>А. П. Новиков, М. С. Хрипченко, А. В. Латынин.</b> Обмен теплом посредством прямого контакта в двигателях внутреннего сгорания .....	225
<b>В. И. Сарбаев, А. Г. Махрамов.</b> Анализ причин аварийности на дорогах Таджикистана .....	229

## **Секция 7 Перспективные технологии изготовления и упрочнения деталей автомобилей**

<b>Н. А. Загородний, С. В. Дорохин, А. С. Семькина, Р. В. Гринякин, Е. А. Цой.</b> Современные прогрессивные технологии ремонта автомобилей .....	233
<b>А. И. Тетерин, А. П. Трясцин.</b> Альтернативные технологии изготовления и восстановления деталей автомобилей .....	238
<b>К. И. Капырин, А. П. Трясцин.</b> Перспективы применения методов интенсивной пластической деформации при ремонтном восстановлении деталей автомобилей: аналитический обзор .....	245

## **Секция 8. Современные неразрушающие методы диагностики агрегатов и систем автомобилей**

<b>Д. Г. Тертерашвили, С. В. Дорохин.</b> Выбор и анализ датчиков для интеллектуальной системы диагностики системы охлаждения ДВС .....	255
<b>Е. Р. Вернигора, В. А. Иванников, С. Н. Крухмалев, А. Е. Матяшов, Г. В. Середин.</b> Разработка методики оценки состояния гидравлического масла на основе его теплофизических показателей .....	260
<b>В. А. Гаркуша, А. В. Криворучко, И. А. Кравцов, В. А. Иванников.</b> Современные методы диагностики агрегатов и систем автомобилей .....	268

<b>А. Н. Швырёв, С. А. Швырёв, Е. Р. Вернигора, Б. Н. Чумаков.</b> Теплофизический анализ как основа разработки метода определения остаточного ресурса гидравлического масла автомобиля .....	273
---	-----

#### **Секция 9 Управление техническим состоянием транспортных средств в течении их жизненного цикла**

<b>О. Ю. Блошенко, А. Н. Новиков, Е. В. Петрище.</b> Проект механизма регулировки спинки пассажирского сиденья для транспорта дальнего следования .....	278
--	-----

#### **Секция 10 Общие вопросы организации учебного процесса в высшей школе в рамках укрупненной группы 23.00.00**

<b>П. А. Баранов, С. В. Внукова, А. А. Тиньков.</b> Решение «парадоксальных» задач как метод повышения компетентности обучающихся инженерных вузов .....	285
<b>Д. О. Горлов, У. Г. Фомина.</b> Восприятие чувства скорости велосипедистами- шоссейниками.....	290
<b>И. В. Беликова, И. В. Григорьева, А. А. Мазур.</b> Общие вопросы организации физической культуры в высшей школе .....	293
<b>И. В. Григорьева, Е. Г. Волкова, И. А. Кондратенко.</b> Неспецифическая реакция организма при занятиях спортом .....	297
<b>И. В. Григорьева, Е. Г. Волкова, И. А. Кондратенко.</b> Сравнительный анализ максимального потребления кислорода при плавании и при работе на велоэргометре	301
<b>Ф. А. Шакина, И. В. Терехина, С. А. Швырев, М. М. Рыбникова, Д. А. Жайворонок.</b> Интеграция современных образовательных технологий в учебный процесс .....	304
<b>А. В. Кучин, В. Д. Лебедев, С. А. Красоткин, М. Д. Кашин.</b> Актуализация междисциплинарного профессионального модуля «мехатронный гидропривод транспортно-технологических машин» .....	309
<b>К. С. Колосов, Е. Н. Лушникова, С. В. Внукова.</b> Кейс-стадии как инструмент повышения эффективности изучения дисциплины «Электротехника» .....	313

**АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ  
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В УСЛОВИЯХ НИЗКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ  
ПРИЁМА ДАННЫХ ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ  
СИСТЕМ**

А.А. Башмаков <sup>1</sup>, С.С. Евтюков <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,  
г. Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Анатолий Алексеевич Башмаков, sevtyukov@lan.spbgasu.ru

**Аннотация.** В статье проводится анализ существующих методов определения текущего местоположения транспортных средств без использования данных глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). По итогу анализа определяются оптимальные условия для применения различных методов в зависимости от типа транспортных средств и качества приёма данных ГНСС с целью обеспечения стабильной работы систем управления транспортом.

**Ключевые слова:** транспорт, бортовое навигационно-связное оборудование, телематика, пассажирские перевозки, определение местоположения, интеллектуальные транспортные системы.

**ALTERNATIVE METHODS FOR DETERMINING THE LOCATION OF VEHICLES  
IN CONDITIONS OF LOW STABILITY OF DATA RECEPTION OF GLOBAL  
NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS**

A.A. Bashmakov <sup>1</sup>, S.S. Yevtyukov <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,  
St. Petersburg, Russia,

The author responsible for the correspondence: Anatoly Alekseevich Bashmakov,  
sevtyukov@lan.spbgasu.ru

**Abstract.** the article analyzes the existing methods for determining the current location of vehicles without using data from global navigation satellite systems (GNSS). As a result of the analysis, optimal conditions are determined for the use of various methods, depending on the type of vehicles and the quality of GNSS data reception, in order to ensure stable operation of transport management systems.

**Keywords:** transport, on-board navigation and communication equipment, telematics, passenger transportation, location determination, intelligent transport systems.

**Введение.** Интеллектуальные транспортные системы (ИТС) на сегодняшний день являются приоритетным направлением научно-технического развития согласно Указу Президента РФ от 18.06.2024 № 529 «Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоёмких технологий». При этом, сервисная группа «Общественный транспорт», являются одной из ключевых

элементов ИТС городской агломерации и обеспечивает управление общественным транспортом [1].

Сервисная группа ИТС «Общественный транспорт» включает в себя широкий круг задач, как по управлению самим пассажирским транспортом, организации и управлению перевозок пассажиров, информирования пассажиров и др. [2]. Однако, снижение стабильности приёма данных глобальных навигационных спутниковых систем является критическим фактором, препятствующим эффективной работе указанных сервисов, например:

- При управлении пассажирским транспортом необходимо обладать достоверными данными о текущем местоположении, скорости и направлении движения подвижного состава, работающего на маршруте, для определения интервалов движения транспортных средств, выявления заторов и т.д.;

- Для информирования пассажиров о времени прибытия транспортного средства к остановке, необходимо обладать данными о текущем местоположении транспортных средств, работающих на определённом маршруте;

- Для повышения эффективности систем мониторинга пассажиропотока, необходимо фиксировать количество вошедших/вышедших пассажиров к текущему местоположению транспортного средства с целью определения наиболее нагруженных перегонов на маршруте.

В соответствии со сказанным выше, наличие достоверной информации о текущем местоположении транспортных средств является критическим фактором, обеспечивающим стабильность работы пассажирского транспорта общего пользования.

**Анализ и методы.** Глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС) – это система, предназначенная для определения местоположения различных объектов, составляющих вектора скорости и направления движения, а также синхронизации показаний часов приёмника сигналов ГНСС в любой точке на поверхности Земли, акватории Мирового океана, воздушного и околоземного космического пространства. Принцип работы ГНСС основан на измерении расстояния до спутников на орбите Земли, расположение которых заранее известно с большой точностью, на основе данных о задержке поступления сигналов [3].

В условиях низкой стабильности приёма данных ГНСС необходимо обеспечивать альтернативные методы определения местоположения транспортного средства, основанные на различных технологиях.

Использование меток с записанными данными о собственном местоположении. В случае периодического отсутствия данных ГНСС, вдоль трассы следования транспортных средств могут быть установлены специализированные метки. Наиболее распространены метки на основе технологии радиочастотной идентификации (RFID) и Bluetooth с низким энергопотреблением (BLE).

Современные метки включают в себя:

- Встроенная энергонезависимая память;
- Интегральную схему для управления памятью;
- Антенну для приёма и передачи данных;
- Встроенный источник питания (в случае использования меток с активной передачей данных);
- Корпус для защиты от внешних факторов.

В таблице 1 приведено сравнение меток двух технологий по основным эксплуатационным характеристиками.

Таблица 1 – Сравнение RFID и BLE меток  
Table 1 – Comparison of RFID and BLE tags

Наименование показателя	Значение для RFID	Значение для BLE
Диапазон рабочих частот	860-960 МГц	2,4 ГГц
Дистанция считывания	до 10 м	до 50 м
Скорость передачи данных	до 128 кбит/с	до 1 Мбит/с
Тип памяти	R/W – чтение и запись	R/W – чтение и запись
Объем памяти	от 256 бит	256 Кб
Класс защиты от влаги и пыли	до IP69K	до IP69K
Срок службы	5-10 лет	5-10 лет

Не смотря на схожесть характеристик RFID и BLE меток, основным различием между двумя технологиями является дистанция считывания информации, которая может интерпретироваться как достоинство или недостаток.

Низкая дистанция считывания RFID меток требует более точного позиционирования антенны и строго определённой траектории движения транспортного средства, однако обеспечивает относительно низкую погрешность для данного метода определения местоположения (до 20 метров).

Большая дистанция считывания BLE меток обеспечивает стабильность работы в условиях изменчивой траектории движения транспортного средства, снижает требования к расположению считывателя, однако имеет относительно большую погрешность определения местоположения (до 100 метров).

Использование существующих сетей связи. В качестве альтернативного источника данных о местоположении транспортного средства в случае полного отсутствия данных с ГНСС возможно использование различных геолокационных сервисов с использованием базовых станций сетей сотовой мобильной связи или точек доступа Wi-Fi, расположение которых известно заранее.

С целью решения задач по определению местоположения мобильных объектов в системах сотовой связи четвёртого поколения (LTE) используются методы пространственной обработки сигналов базовых станций, разностно-дальномерные методы, методы определения угла направления сигнала и т.д.

Наиболее подходящим методом для определения местоположения транспортного средства является разностно-дальномерный метод, в основе которого лежит определение координат подвижного объекта за счёт измерения расстояния до нескольких базовых станций по разности времени прихода сигнала (Time difference of arrival, TDoA). Данный метод реализуется посредством параметра Timing advance (TA) [4], который предназначен для компенсации задержки распространения сигнала от мобильных устройств и недопущения пересечения временных слотов при отправке и приёме данных. Так как данный метод уже применяется в сетях сотовой связи для обеспечения стабильности обмена данными определение местоположения транспортных средств с его помощью не потребует модернизации сетевого оборудования [4]. Точность определения местоположения транспортного средства на основе данного метода составляет порядка 35 метров.

Для определения местоположения мобильного объекта на основе точек доступа Wi-Fi проводится анализ доступных сетей по уровню RSSI (Received Signal Strength Indicator), который измеряется в дБм (децибел-милливаттах) и является отрицательным числом [5]. Данный показатель характеризует уровень мощности сигнала Wi-Fi сети, чем ближе данный показатель к 0, тем сигнал считается лучше. Наиболее стабильным

считается сигнал в диапазоне от -35 до -65 дБм, стабильным сигналом – от -50 до -70 дБм.

Для определения местоположения используется база данных о местоположении Wi-Fi сетей на местности, после чего определяется местоположение мобильного объекта с помощью математических расчётов методом латерации. Метод латерации не требует значительных ресурсов для определения местоположения, однако его точность в значительной части зависит от корректности определения расстояния до точки доступа, определённой относительно, по уровню RSSI, который не учитывает затухание сигнала при прохождении через препятствия отражённые сигналы и т.д. В качестве альтернативы измерения уровня мощности сигнала Wi-Fi точек доступа может быть использована технология Wi-Fi Location, которая использует метод измерения разности времени прихода сигнала аналогично методу TDoA в мобильных сетях LTE, однако она требует точной временной синхронизации оборудования для реализации.

Точность геопозиционирования на основе данного метода может составлять порядка 10 метров, однако она очень сильно зависит от метода определения расстояния до точек доступа Wi-Fi и их количества.

Указанные методы применимы для крупных городов с высокой плотностью базовых станций сетей сотовой мобильной связи и большого количества активных точек доступа Wi-Fi, так как точность определения местоположения напрямую зависит от их количества.

Создание независимой сети обмена данными между транспортными средствами и элементами дорожной инфраструктуры. В качестве полноценной альтернативы ГНСС в определении местоположения транспортных средств может быть применён набор технологий Vehicle-to-Everything (V2X), который предназначен для повышения уровня безопасности дорожного движения. Сети транспортных средств V2X были разработаны для обеспечения следующих каналов связи:

- Между транспортными средствами (V2V);
- Между транспортными средствами и дорожной инфраструктурой (V2I);
- Между транспортными средствами и пешеходами (V2P);
- Между транспортными средствами и сетью (V2N) и т.д.

В рамках различных сценариев, реализуемых с применением данного набора технологий каждое транспортное средство должно знать своё местоположение с высокой точностью (например, системы обеспечения приоритетного проезда перекрёстков). Однако существующие системы высокоточного позиционирования основываются на данных ГНСС, которые корректируются с помощью базовых станций с известными координатами.

Для решения вопроса возможности позиционирования в условиях низкой стабильности приёма данных ГНСС необходимо обеспечить достаточную плотность опорных устройств радиодоступа RSU (Roadside Unit) для интеллектуальных транспортных систем, обеспечивающих высокоточное сетевое позиционирование транспортных средств в условиях городской агломерации. Применение сетевой геолокации обеспечить функционал высокоточного позиционирования в условиях полного отсутствия данных ГНСС. В условиях прямой видимости не менее двух опорных устройств RSU точность позиционирования составляет до 1 м [6].

**Результаты.** В результате проведённого анализа методов определения местоположения транспортных средств в условиях низкой стабильности приёма данных ГНСС, можно выделить достоинства и недостатки.

Использование меток с записанными данными о собственном местоположении  
Достоинства:

- Низкая стоимость внедрения за счёт распространённости применения технологии RFID и BLE меток в различных производственных сферах;

- Возможность масштабирования путём добавления меток в необходимых участках маршрутной сети;

- Независимость от внешних факторов, так как метки и считыватели находятся под управлением транспортного предприятия.

Недостатки:

- Относительно низкая точность позиционирования из-за необходимости расположения меток на расстоянии, исключающих одновременное считывание;

- Ограниченный срок службы активных меток со встроенным источником питания.

Использование существующих сетей связи.

Достоинства:

- Низкая стоимость внедрения за счёт готовности базовых станций сетей сотовой связи к реализации алгоритмов определения местоположения;

- Высокая надёжность работы системы за счёт мер по обеспечению стабильности работы сетевой инфраструктуры операторов сетей сотовой связи.

Недостатки:

- Невозможность использования вне населённых пунктов с достаточной плотностью базовых станций;

- Невозможность масштабирования из-за отсутствия влияния транспортных предприятий на операторов сетей сотовой связи.

Создание независимой сети обмена данными между транспортными средствами и элементами дорожной инфраструктуры.

Достоинства:

- Высокая точность позиционирования за счёт использования оборудования сетевой геолокации для высокоточного позиционирования транспортных средств;

- Возможность реализации различных сценариев управления транспортом в рамках городских ИТС (в том числе, приоритетные условия проезда перекрёстков для общественного транспорта);

- Возможность внедрения перспективных высокоавтоматизированных транспортных средств на базе оборудования сетевой геолокации;

Недостатки:

- Высокая стоимость внедрения из-за специфичности применяемого оборудования.

**Выводы.** Метод определения местоположения транспортных средств следует выбирать исходя из внешних условий.

В случае наличия отдельных областей на маршруте следования транспортного средства с нестабильным приёмом данных ГНСС приёмников, наиболее целесообразно использовать метки с записанными данными о собственном местоположении. При этом, для рельсового транспорта предпочтительно использование RFID меток с дальностью считывания до 10 метров из-за возможности точного позиционирования считывателя по отношению к меткам. Данный способ позволяет добиться приемлемых показателей точности определения местоположения. BLE метки предпочтительно использовать для колёсных транспортных средств, так как отсутствие жёстких требований к позиционированию считывателя относительно метки обеспечивает надёжность считывания независимо от полосы движения транспортного средства.

В случае невозможности использования данных ГНСС на территории большей части городской агломерации, наиболее целесообразно обеспечить независимый альтернативный метод определения местоположения транспортных средств, на основе



базовых станций. При этом, в рамках развития ИТС, предпочтительно развивать собственную инфраструктуру, обеспечивая достаточную плотность опорных устройств радиодоступа RSU, с целью внедрения высокоточного сетевого позиционирования транспортных средств. Использование существующих сетей операторов сотовой связи может рассматриваться как временный метод определения местоположения транспортных средств при отсутствии ресурсов для реализации собственной сетевой геолокации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боловнев, Д. О. Определение местоположения пользователя в Wi-Fi сети / Д. О. Боловнев, Д. Д. Семидетко // Материалы Всероссийской научно-технической конференции : в 4 ч. – Новосибирск, 2024. – Ч. – С. 20–25.
2. ГОСТ 33472-2023. Глобальная навигационная спутниковая система. Аппаратура спутниковой навигации для оснащения колёсных транспортных средств. Общие технические требования : межгосударственный стандарт. – Введ. 2024-06-01. – URL: <https://meganorm.ru/Data/815/81597.pdf> (дата обращения: 07.07.2025). – Текст: электронный.
3. ГОСТ Р ИСО 14813-1-2011. Интеллектуальные транспортные системы. Схема построения архитектуры интеллектуальных транспортных систем. Часть 1. Сервисные домены в области интеллектуальных транспортных систем, сервисные группы и сервисы : национальный стандарт Российской Федерации. – Введ. 2012-03-01. – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293800/4293800056.pdf> (дата обращения: 05.10.2025). – Текст: электронный.
4. Киреев, А. В. Позиционирование объектов в сетях LTE посредством измерения времени прохождения сигналов / А. В. Киреев, Г. А. Фокин // Труды учебных заведений связи. – 2016. – Т. 2, № 1. – С. 68–72.
5. Рыбнов, Е. И. Интеллектуальные транспортные системы : учебник : в 2 т. / Е. И. Рыбнов, С. С. Евтюков, А. И. Солодкий. – Санкт-Петербург : Петрополис, 2023. – Т. 1. – 356 с.
6. Фокин, Г. А. Позиционирование транспортных средств в сверхплотных сетях радиодоступа V2X/5G с использованием расширенного фильтра Калмана / Г. А. Фокин, А. Г. Владыко // Труды учебных заведений связи. – 2020. – Т. 6, № 4. – С. 45–59.

## REFERENCES

1. Bolovnev, D. O. Determining the user's location in a Wi-Fi network / D. O. Bolovnev, D. D. Semidetko // Materials of the All-Russian Scientific and Technical Conference : at 4 a.m. – Novosibirsk, 2024. – Pp. 20-25.
2. GOST 33472-2023. Global navigation satellite system. Satellite navigation equipment for equipping wheeled vehicles. General technical requirements : interstate standard. – Introduction. 2024-06-01. – URL: <https://meganorm.ru/Data/815/81597.pdf> (accessed 07.07.2025). – Text: electronic.
3. GOST R ISO 14813-1-2011. Intelligent transportation systems. The scheme of building the architecture of intelligent transport systems. Part 1. Service domains in the field of intelligent transport systems, service groups and services : the national standard of the Russian Federation. – Introduction. 2012-03-01. – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293800/4293800056.pdf> (accessed: 05.10.2025). – Text: electronic.
4. Kireev, A.V. Positioning objects in LTE networks by measuring signal transit time / A.V. Kireev, G. A. Fokin // Proceedings of educational institutions of communications. – 2016. – Vol. 2, No. 1. – pp. 68-72.
5. Rybnov, E. I. Intelligent transport systems : textbook : in 2 volumes. / E. I. Rybnov, S. S. Yevtyukov, A. I. Solodky. – St. Petersburg : Petropolis, 2023. – Vol. 1. – 356 p.
6. Fokin, G. A. Positioning of vehicles in ultra-dense V2X/5G radio access networks using an extended Kalman filter / G. A. Fokin, A. G. Vladiko // Proceedings of educational institutions of communications. – 2020. – Vol. 6, No. 4. – pp. 45-59.

## КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ И ТОЧНОСТИ МЕТЕОПРОГНОЗОВ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКИХ ШИРОТ

Н. В. Загоруйко<sup>1</sup>, В. М. Власов<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),  
г. Москва, Россия

<sup>1</sup> n1kzago23@yandex.ru

<sup>2</sup> vmv@transnavi.ru

**Аннотация.** В статье предлагается комплексное решение для преодоления ограничений спутниковой связи и повышения точности метеопрогнозов в высоких широтах, что критично для обеспечения безопасности доставки грузов по временным автодорогам (зимникам). Экстремальные климатические факторы региона, включая сверхнизкие температуры, сильные ветры и полярную ночь, диктуют необходимость в специализированных, отказоустойчивых технологических решениях.

**Ключевые слова:** транспортно-логистическая система, арктическая зона, труднодоступные населенные пункты, безопасность грузоперевозок, автозимник, метеостанция, спутниковая связь.

## A COMPREHENSIVE APPROACH TO IMPROVING THE EFFICIENCY OF SATELLITE COMMUNICATIONS AND THE ACCURACY OF WEATHER FORECASTS IN HIGH LATITUDES

N. V. Zagoruiko<sup>1</sup>, V. M. Vlasov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Moscow State Automobile and Road Technical University (MADI),  
Moscow, Russia

<sup>1</sup> n1kzago23@yandex.ru

<sup>2</sup> vmv@transnavi.ru

**Abstract.** The article proposes a comprehensive solution to overcome limitations in satellite communications and improve weather forecasting accuracy in high latitudes, which is critical for ensuring the safety of cargo delivery via temporary roads (winter roads). The region's extreme climatic factors, including extremely low temperatures, strong winds, and polar night, necessitate the use of specialized, resilient technological solutions.

**Keywords:** transport and logistics system, Arctic zone, remote settlements, cargo transportation safety, winter road, weather station, satellite communications.

Стратегическое развитие Арктической зоны и Дальнего Востока, включая освоение Северного морского пути и разработку месторождений, сталкивается со значительными логистическими трудностями. Ярким примером является Республика Саха (Якутия), обширная гидрографическая сеть которой (сотни тысяч рек и озер) создает барьеры для круглогодичного наземного сообщения.

Ключевой проблемой транспортной доступности региона выступает река Лена, ширина которой в узких местах превышает 3 км. Строительство всесезонного моста, запланированное десятилетия назад, регулярно откладывается из-за геологических и

климатических сложностей. В результате, транспортное сообщение критически зависит от сезонных методов: паромов в летний период и ледовых переправ (зимников) в зимний.

Именно автозимники представляют наибольшую опасность для грузоперевозок. Это обусловлено нестабильностью погодных условий, низкой точностью прогнозирования ледовой обстановки и практически полным отсутствием инфраструктуры связи (ретрансляторов, радиовышек). Качество спутниковой связи в высоких широтах нестабильно и может значительно ухудшаться при высокой облачности или сильных осадках.

Создание стационарной наземной инфраструктуры традиционными методами неэффективно. Для электропитания станций требуются значительные ресурсы, а суровые условия окружающей среды приводят к быстрому разрушению любых стационарных систем [1].

Хотя различными исследователями предлагаются разработки по модификации существующих бортовых телематических систем, например, за счет использования более эффективных антенн и протоколов связи, эти решения остаются зависимыми от связи «точка-точка» (с GSO/LEO спутником или редкой наземной станцией). Они не решают фундаментальную проблему отсутствия широкополосной региональной инфраструктуры, способной обслуживать десятки транспортных средств и датчиков одновременно.

Для решения этих задач предлагается создание мобильной, широкополосной коммуникационной сети на базе высотных платформ. Перспективным решением является использование привязных аэростатов, таких как «Пума» (РосАэроСистемы) Рисунок 1. Эти аппараты способны нести полезную нагрузку (до 2250 кг) на рабочей высоте от 2000 до 5000 метров и находиться в полете до двух месяцев, создавая зону устойчивой связи на обширной территории [2].

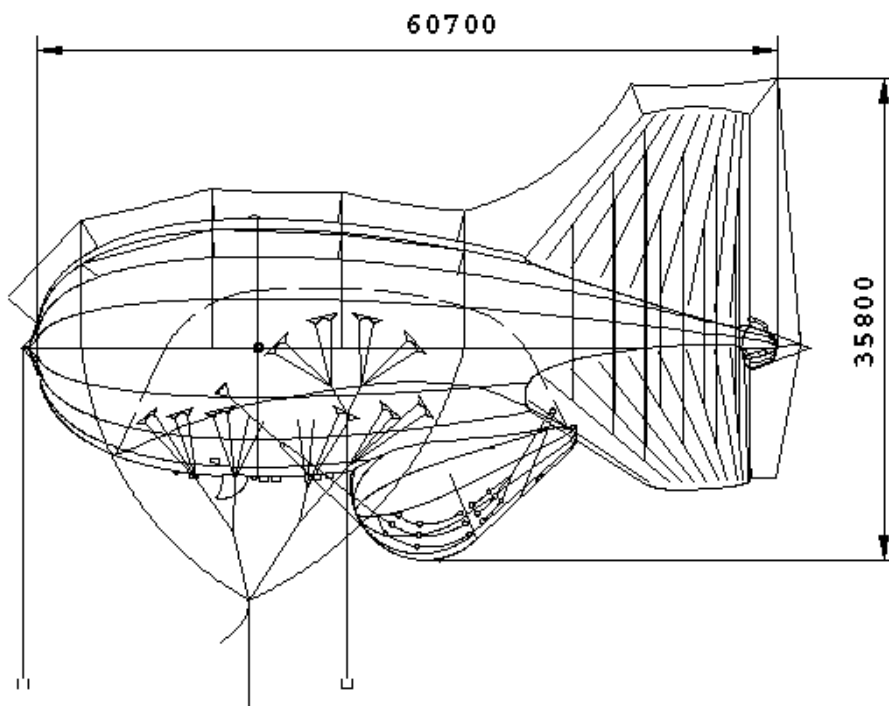


Рисунок 1 – Схема Аэростата «Пума» РосАэроСистемы  
Figure 1 – Diagram Of The Balloon «Puma» Rosaerosystem

Данная инфраструктура решает двойную задачу: обеспечивает связь и повышает ситуационную осведомленность. Аэростат, выступая в роли высотного хаба, способен

агрегировать в режиме реального времени данные с распределенной сети наземных автономных датчиков (автоматизированных метеостанций, сенсоров толщины и структуры льда). Существующие метеопрогнозы для региона не обладают достаточным пространственным и временным разрешением. Получение локализованных данных критически важно для динамического моделирования ледовой нагрузки и краткосрочного прогнозирования опасных явлений (метелей, резких оттепелей), что необходимо для оперативного реагирования на изменения погодных условий и повреждения полотна [3].

Для обеспечения энергоавтономности бортового оборудования предлагается использовать высотные ветроэнергетические установки, интегрированные с аэростатом (например, патент RU2662101C1). Такая система, оснащенная генератором и радиально-лопастной турбиной, обеспечивает независимый от наземной инфраструктуры источник питания.

На рисунке 2 показан общий вид аэростата ветроэнергетического (далее аэроэнергостат); вид на воздухоплавательный модуль того же устройства с подветренной стороны; вид снизу на воздухоплавательный модуль аэроэнергостата (ветросиловой блок условно не показан).

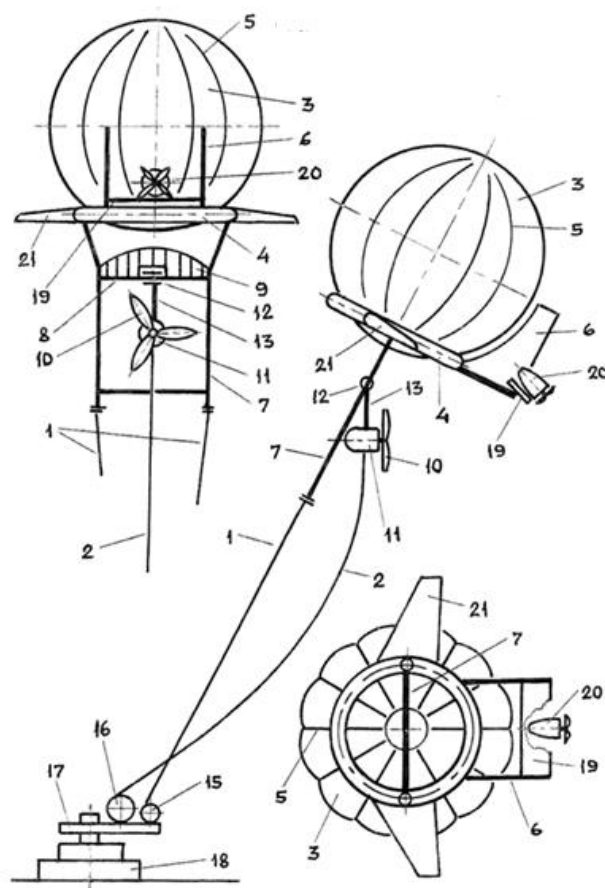


Рисунок 2 – схема аэростата ветроэнергетического  
Figure 2 – diagram of a wind energy balloon

Предполагается гибридная схема передачи данных. Связь между наземным транспортом (грузовиками, метеостанциями) и аэростатом-ретранслятором осуществляется по радиоканалу. Канал «аэростат-земля» (к наземному узлу управления) реализуется посредством оптоволоконного кабеля, интегрированного в привязной трос. Это гарантирует высокую скорость передачи и помехозащищенность.

Дополнительно, для питания бортовой электроники может быть применена технология Power-over-Fiber (PoF). PoF – это инновационная технология, позволяющая передавать электрическую мощность (от милливатт до десятков ватт) по оптическому волокну на расстояние до 100 км, обеспечивая полную гальваническую развязку между источником и устройством [4].

Анализ существующих подходов к мониторингу грузоперевозок в Арктике подтверждает, что ключевыми факторами успеха являются надежность, оперативность передачи данных и адаптация технологий к экстремальным условиям региона. Предложенный комплексный подход, сочетающий высотные аэростатные платформы, автономные источники энергии и гибридные каналы связи (радио + оптоволокно), способен эффективно решить поставленные задачи.

Создаваемая инфраструктура обеспечивает не только стабильную связь с транспортными средствами на зимниках, но и сбор телеметрической информации (метеосостояние, состояние ледового полотна), что напрямую повышает точность прогнозирования. Это, в свою очередь, позволяет оперативно реагировать на изменения обстановки, корректировать маршруты или отзываться транспортные средства, избегая неоправданных рисков. Таким образом, внедрение подобных аэростатных телекоммуникационных и мониторинговых систем, интегрированных с современными, ГИС-платформами, является стратегическим шагом к повышению безопасности и эффективности логистических операций в высоких широтах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент на полезную модель № 204126 U1, Российская Федерация, МПК H04L 27/34. Автономная док-станция спутниковой передачи данных : № 2021104183 : заявл. 19.02.2021 : опубл. 11.05.2021 / И. Н. Сторожев, С. А. Астамиров ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Грозненский завод электрозащитного оборудования», Акционерное общество «Московская областная энергосетевая компания». – EDN YCXXPM.
2. Описание привязного аэростата «Пума» РосАэроСистемы – URL: <http://rosaerosystems.ru/aero/obj16> (дата обращения: 29.11.2024).
3. Патент RU 2662101 C1, Российская Федерация. Аэростат ветроэнергетический : № 2017118522 : заявл. 25.05.2017 : опубл. 23.07.2018 / Солдаткин А. В., Зеленцов М. А. ; патентообладатель Солдаткин А. В. (RU). – URL: <https://patents.google.com/patent/RU2662101C1/ru> (дата обращения: 29.11.2024).
4. Перспективы применения технологии Power-over-Fiber / А. А. Гаркушин, В. В. Криштоп, В. А. Максименко [и др.] // Прикладная фотоника. – 2023. – Т. 10, № 1. – С. 46-67. – DOI: 10.15593/2411-4375/2023.1.03. – EDN HYBXUW.

## REFERENCES

1. Utility Model Patent No. 204126 U1, Russian Federation, IPC H04L 27/34. Autonomous satellite data transmission docking station : No. 2021104183 : application 02/19/2021 : published 05/11/2021 / I. N. Storozhev, S. A. Astamirov ; applicant Limited Liability Company "Grozny Plant of Electrical Protective Equipment", Joint Stock Company "Moscow Regional Power Grid Company". – EDN YCXXPM.
2. Description of the tethered balloon "Puma" of the ROSAEROSYSTEM. – URL: <http://rosaerosystems.ru/aero/obj16> (date of access: 11/29/2024).
3. Patent RU 2662101 C1, Russian Federation. Wind energy balloon : No. 2017118522 : application. 05/25/2017 : published. 07/23/2018 / Soldatkin A.V., Zelentsov M. A. ; patent holder Soldatkin A.V. (RU). – URL: <https://patents.google.com/patent/RU2662101C1/ru> (date of reference: 11/29/2024).
4. Prospects for the use of Power-over-Fiber technology / A. A. Garkushin, V. V. Krishtop, V. A. Maksimenko [and others] // Applied photonics. – 2023. – Vol. 10, No. 1. – pp. 46-67. – DOI: 10.15593/2411-4375/2023.1.03. – EDN HYBXUW.

## ТРАНСПОРТНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОДИТЕЛЯ И АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЕМ

К.А. Закурдаева<sup>1</sup>, А.В. Будуруков<sup>2</sup>, А.А. Яровенко<sup>3</sup>, А.А. Колыхалова<sup>4</sup>, В.Б. Анисимова<sup>5</sup>  
<sup>1,2,3,4,5</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,  
г. Воронеж, Россия

Автор, ответственный за переписку: Ксения Алексеевна Закурдаева, 81ksusha.04@gmail.com

**Аннотация.** В эпоху процветания искусственного интеллекта и глобальной автоматизации, остро встаёт вопрос о взаимодействии водителей с новыми автотранспортными средствами, несущими в себе неизвестность.

**Ключевые слова:** транспортная психология, автотранспорт, перевозки, взаимодействие, эффективность, автоматизация.

## TRANSPORT-PSYCHOLOGICAL ASPECTS OF DRIVER-AUTOMATED VEHICLE CONTROL INTERACTION

K.A. Zakurdaeva<sup>1</sup>, A.V. Budurukov<sup>2</sup>, A.A. Yarovenko<sup>3</sup>, A.A. Kolykhalova<sup>4</sup>, V.B. Anisimova<sup>5</sup>  
<sup>1,2,3,4,5</sup> Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,  
Voronezh, Russia

The author responsible for the correspondence: Ksenia Alekseevna Zakurdaeva,  
81ksusha.04@gmail.com

**Abstract.** In the era of artificial intelligence advancement and global automation, the issue of driver interaction with new motor vehicles, which embody an element of uncertainty, becomes increasingly relevant.

**Keywords:** transport psychology, motor vehicles, transportation, interaction, efficiency, automation.

В Российской Федерации насчитывается свыше 54 миллионов автомобилей, 25 миллионов из которых ориентированы на перевозки как грузов, так и пассажиров. В основе своей, это транспортные средства старого образца, без новейших модификаций, упрощающих движение по дорогам общего пользования.

Современное развитие автомобильного транспорта сопровождается одним из значительных изобретений человечества, - активным внедрением технологий автоматизированного управления, оказавшим ни с чем не сравнимое воздействие на психологическое развитие людей [1]. В этой связи особое значение приобретают исследования, направленные на изучение психофизиологических особенностей восприятия водителями информации, предоставляемой автоматическими системами, и степени их готовности к взаимодействию с такими технологиями: как именно это воспроизводится на системе водитель-автомобиль-дорога-среда (ВАДС)?

До критической интеграции способа автоматизированного управления транспортом, в контексте транспортной психологии, главным звеном в схеме синергии был водитель, который играл роль исполнителя, от него напрямую зависели ситуация на дороге, поддержание надежности во время движения. Все необходимые действия и

знания в таких условиях применялись непосредственно, исходя из состояния человека. Что, в свою очередь, сказывалось на процессе управления автотранспортом.

Психологическое состояние водителя оказывает прямое влияние на безопасность дорожного движения. Факторы усталости, эмоционального напряжения и когнитивного истощения снижают способность к адекватной оценке дорожной обстановки. Высокая концентрация внимания и устойчивость к стрессу являются ключевыми условиями безопасности.

Исследования и статистика показывают: чаще всего дорожно - транспортные происшествия возникают по причине неопытности, истощённости и невнимательности главного звена системы: ВАДС.

Поэтому возникает острое обращение к исследованию взаимосвязи АСУ на АТ и водителя, к системе взглядов человека на внедряемую модернизацию в процесс управления автомобилем.

Развитие нового автоматизированного управления на транспорте преимущественно вытекает из следующего факта: водитель оценивает обстановку на дороге чаще всего визуальным методом, что в различных ситуациях может ослабить внимание и не предоставить полного объема времени на принятие важнейших решений на магистрали [2].

Отчётливо данный факт отображается на Рисунке 1, где наглядно демонстрируются точки фокусирования водителя в конкретных затруднительных дорожных условиях. Нам представлены две ситуации проезда кривых участков дорог с выпуклой и вогнутой кривыми.

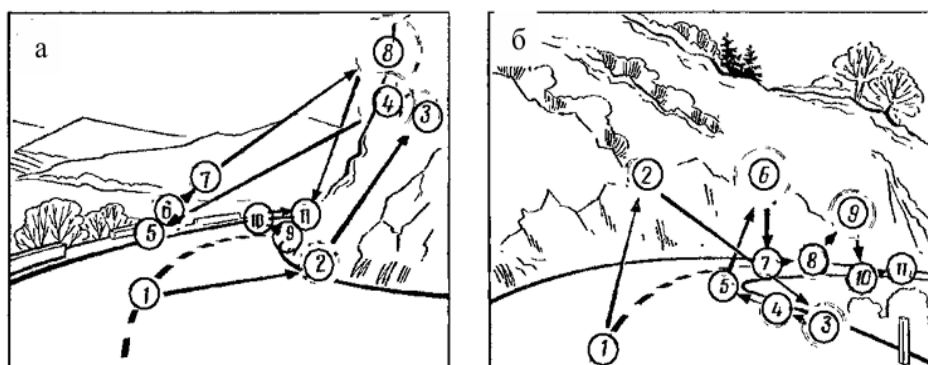


Рисунок 1 - Перемещение взгляда водителя при проезде кривых в плане на горных дорогах:

а – выпуклая кривая; б – вогнутая кривая

(номера точек соответствуют последовательности сосредоточения взгляда водителя, диаметры кружков – его относительной продолжительности)

Figure 1 – Movement of the driver's gaze when driving through curves in plan on mountain roads:

а – convex curve; б – concave curve

(the numbers of the points correspond to the sequence of the driver's gaze fixation, and the diameters of the circles indicate its relative duration)

На Рисунке 1 (а) показано, с чего начинается у водителя визуальный анализ прохождения сложного участка, так, большая часть внимания уходит на каждый метр прохождения самого поворота, а также проверку опасностей окружающей среды - предположительный оползень склона, соответственно понижая концентрацию человека.

На Рисунке 1 (б) схожая ситуация, которая выражает уход внимания водителя на возвышенность впереди пути и множество мелких факторов перед опасным поворотом.

Таким образом, с помощью внедрения технологий автоматизации мы можем снизить количество участков внимания водителя и повысить эффективность вождения.

Помимо модернизации автомобилей для упрощенного вождения, появляется возможность автономного движения транспорта с помощью разработки беспилотных автомобилей, которыми управляют нарочито обученные специалисты, не находящиеся непосредственно в ТС.

Автоматизированные системы вождения, включая адаптивный круиз-контроль, ассистенты удержания в полосе и автономное торможение, существенно изменяют структуру деятельности водителя [3]. Основная задача человека смещается от непосредственного управления транспортным средством к контролю за действиями автоматики. При этом возникает феномен «избыточного доверия», когда оператор недооценивает возможные ошибки системы и теряет бдительность. Исследования показывают, что чрезмерная автоматизация может приводить к ослаблению навыков ручного управления и замедлению реакции в экстренных ситуациях, что трактуется заниженным мышлением – способностью человека к познанию существенных свойств и связей, его обобщенным умозаключением.

Это объясняется тем, что группы психических явлений:

- психические процессы человека
- и его психические состояния, значительно ослабевают в неотлагательном моменте, так как навык контроля за окружающей обстановкой теряется.

На сегодняшний день примером таких внедрений стало беспилотное такси (Рисунок 2) от «Яндекса», в которых отсутствуют живые водители в транспортном средстве. Управление таким средством передвижения происходит из специализированного центра, где оператор контролирует каждое действие и состояние автомобиля при помощи совокупности систем камер, лидаров и радаров, расположенных на 360° вокруг авто, считывающих до 100% всей дорожной среды с помощью бортового компьютера.



Рисунок 2 – Беспилотное такси «Яндекс»  
Figure 2 – «Yandex» self-driving taxi

На ряду с модернизацией транспортных средств возникает очевидный вопрос: «приспособлена ли дорожная среда к внедрению автономности перевозочного процесса»?

На данный момент инфраструктура и дорожные условия в большинстве своём не готовы для внедрения новых технологий [4]. Первой причиной является неподготовленность самого дорожного полотна – сильный износ асфальта, а местами и его отсутствие, ненанесенная разметка или же недоступность знаков дорожного регулирования.

Второй причиной становится расхождение в определении дорожной ситуации в среде «машин» и остальных «живых» участников транспортного процесса, к сожалению, автономные автомобили не могут также быстро оценивать дорожную ситуацию, как люди и могут совершать неверные или необдуманные маневры.



Доверие к автоматизированной системе определяется как субъективная оценка её надёжности и предсказуемости. Формирование адекватного уровня доверия является критически важным фактором успешного внедрения интеллектуальных транспортных систем. Так, чрезвычайно низкое доверие вызывает отказ от перехода к усовершенствованным технологиям, высокое же — влечет за собой допущение ошибок оператора.

Кроме того, когнитивная нагрузка при мониторинге работы автоматизированных систем требует пристального внимания, поскольку длительное наблюдение без активных действий снижает уровень бдительности и восприятия как процесса понимания пространства посредством зрения, слуха и осязательности [5].

Сравнительная параллель с восприятием человека и оцениванием движений исходит от интереса ученых в видах восприятия: пространства, движения и времени.

Интерпретация движений основано на синхронном использовании информации, исходящей из серии источников: констатация факта движения, оценка его направленности и скорости. Все это фиксируется нейронами-детекторами движения нейрофизиологического механизма условного рефлекса.

Ощущение движения, его вектора связано с перемещением картинки динамичного предмета на сетчатке глаза, доказывается существованием иллюзии движения [6].

Решением проблем дорожной среды могут стать системы умного города, которые включают в себя:

- 1) ужесточение контроля в качественном строительстве и обслуживании дорожного полотна;
- 2) мониторинг потоков — эффективная оценка и распределение транспортных потоков с помощью сенсоров и камер, для предотвращения заторов;
- 3) внедрение умных светофоров, что позволит отслеживать движение транспорта, пешеходов и даже погодных условий для анализа ситуации на магистрали и регулирования сигнала устройства регулирования;
- 4) интеграцию цифрового парковочного комплекса — отслеживание в реальном времени количества парковочных мест для снижения дополнительных маневров на дороге.

В заключении хочется обратить внимание: на данный момент Россия только на середине пути формы активной направленности на изменение и преобразование автоматизации транспортного процесса, и многое ещё предстоит сделать для комфортной и безопасной дорожной среды. Будущее транспортной отрасли связано с гармоничным сочетанием технических и психологических компонентов управления, что требует комплексного подхода при проектировании и эксплуатации интеллектуальных транспортных систем.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дорожные условия и безопасность движения : учебное пособие / А. Ю. Шаров, А. А. Чижов. — Екатеринбург : УГЛТУ, 2014. — 29 с.
2. Кузнецов, А. С. Интеллектуальные транспортные системы: принципы и практика / А. С. Кузнецов // Транспорт России. — 2019. — № 5. — С. 34–42.
3. Смирнов, Е. И. Пространственное планирование и транспортное развитие города: теоретические и прикладные аспекты / Е. И. Смирнов // Региональная экономика: теория и практика. — 2017. — № 2. — С. 45–53.
4. Ставничий, Ю. А. Транспортные системы городов США: обзор / Ю. А. Ставничий. — Москва : ЦНТИ, 2017. — 57 с.
5. Нарисын, Н. Психология безопасности вождения / Н. Нарисын. — Москва : РИПОЛ классик, 2006. — 256 с. — (Высшая школа водительского мастерства).

6. Транспортная психология : методические указания для самостоятельной работы студентов по специальности 190702 - Организация и безопасность движения / Г. Н. Климова, В. П. Белокуров, Р. А. Кораблев, Ю. И. Трофимов, А. А. Штепа ; Министерство образования и науки РФ, ФГБОУ ВПО «ВГЛТА». – Воронеж, 2013. – 135 с.

## REFERENCES

1. Road conditions and traffic safety : a textbook / A. Y. Sharov, A. A. Chizhov. – Yekaterinburg : UGLTU, 2014. – 29 p.
2. Kuznetsov, A. S. Intelligent transport systems: principles and practice / A. S. Kuznetsov // Transport of Russia. 2019. No. 5. pp. 34-42.
3. Smirnov, E. I. Spatial planning and transport development of the city: theoretical and applied aspects / E. I. Smirnov // Regional economics: theory and practice. – 2017. – No. 2. – pp. 45-53.
4. Stavnichy, Yu. A. Transport systems of US cities: an overview / Yu. A. Stavnichy. – Moscow : TsNTI, 2017. – 57 p.
5. Naritsyn, N. Psychology of driving safety / N. Naritsyn. Moscow : RIPOL Classic, 2006– 256 p. (Higher School of Driving Skills).
6. Transport psychology: methodological guidelines for independent work of students in the specialty 190702 - Organization and safety of traffic / G. N. Klimova, V. P. Belokurov, R. A. Korablev, Yu. I. Trofimov, A. A. Shtepa ; Ministry of Education and Science of the Russian Federation, VGLTA. – Voronezh, 2013. – 135 p.

## КЛЕТОЧНО-АВТОМАТНАЯ МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОДИТЕЛЯ И ПЕШЕХОДА НА ПЕРЕКРЕСТКЕ В УСЛОВИЯХ НАРУШЕНИЯ ПДД

Н.Н. Паринов<sup>1</sup>, Д.В. Лихачев<sup>2</sup>, А.Ю. Артемов<sup>3</sup>, Е.В. Чирков<sup>4</sup>  
<sup>1,2,3</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,  
г. Воронеж, Россия,  
<sup>4</sup> Ассоциация «Совет муниципальных образований Воронежской области»  
<sup>2</sup> lihachev\_dv@mail.ru

**Аннотация.** Статья посвящена анализу исследований по моделированию поведения водителей в системе «водитель-автомобиль-дорога-среда». Рассматривается эволюция подходов, включая модели на основе симуляторов и клеточных автоматов. Особое внимание уделено проблеме моделирования конфликтов с пешеходами, нарушающими ПДД. В качестве перспективного решения для повышения пропускной способности перекрестков предлагается использование моделей клеточных автоматов.

**Ключевые слова:** моделирование поведения водителей, система «водитель-автомобиль-дорога-среда» (ВАДС), смешанный транспортный поток, конфликтные ситуации на перекрестках, клеточные автоматы, безопасность дорожного движения, пешеходы.

## CELLULAR AUTOMATA MODEL OF DRIVER-PEDESTRIAN INTERACTION AT INTERSECTIONS UNDER TRAFFIC RULE VIOLATIONS

N.N. Parinov<sup>1</sup>, D.V. Likhachev<sup>2</sup>, A.Yu. Artemov<sup>3</sup>, E.V. Chirkov<sup>4</sup>  
<sup>1,2,3</sup> Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,  
Voronezh, Russia,  
<sup>4</sup> Association «Council of Municipalities of the Voronezh Region»  
<sup>2</sup> lihachev\_dv@mail.ru

**Abstract.** The article is devoted to the analysis of research on modeling driver behavior within the «driver-car-road-environment» system. The evolution of approaches, including models based on simulators and cellular automata, is considered. Special attention is paid to the problem of modeling conflicts with pedestrians violating traffic rules. The use of cellular automata models is proposed as a promising solution for increasing intersection capacity.

**Keywords:** driver behavior modeling, driver-car-road-environment system (DCRE), mixed traffic flow, conflict situations at intersections, cellular automata, road safety, pedestrians.

В наш век быстрорастущей автомобилизации, в научных сообществах стала интересна тема поведение водителей при взаимодействии его с другими элементами системы водитель-автомобиль-дорога-среда (ВАДС). Данный интерес связан с тем, что поведение водителя стало одним из основных элементов в системе обеспечения безопасности на дорогах. Одним из направлений данных исследований является моделирование поведения водителя в различных ситуациях на дорогах. Уже в 1985 году Abishai исследовал поведение водителей на нерегулируемых городских перекрестках [1]. В своей работе он изучал, отличаются ли знаки «Стоп» от знаков «Уступи дорогу» с точки зрения частоты аварий и действительно ли усиление мер контроля движения всегда

способствует безопасности на всех опасных перекрестках. Позже, в 2005 году, Bonsalli соавторы, а также Bjorklund и Aberg исследовали поведение водителей на перекрестках и аспекты, связанные с безопасностью дорожного движения [2, 3].

В своих работах Bonsall [2] определили важнейшие параметры в моделях имитационного моделирования, и указали на факт преимущества использования в моделях реалистичных, но в многом небезопасных значений перед использованием безопасных, но нереалистичных параметров. Bjorklund и Aberg [3] в своих работах брали для изучения перекрестки с различными схемами организации дорожного движения, но несколько, и показали что то поведение водителей которое описывается при создании модели будет различно. В научной литературе в последние десять – пятнадцать лет стали чаще появляться работы посвященные моделям «обычного поведения» водителей [4, 5, 6, 7, 8, 9], симуляторам вождения в различных условиях [10, 11, 12, 13], конфликтам с пешеходами [14], а также к исследованию «агрессивного» вождения водителей [15, 16, 17].

Например, в работах Yan и Radwan [4] изучено поведение водителей на регулируемых пересечениях, в условиях ограниченной видимости. В своих работах они разработали модели линейной и логистической регрессии для оценки параметров принятия решения о проезде регулируемого перекрестка. В результате использования данных моделей был сделан вывод о влиянии ограниченной видимости, а конкретно увеличению «критического» промежутка и соответственно самого времени следования, особенно интересно данное исследование полученными данными по водителям, которые совершают левый поворот при наличии конфликтного прямого потока и ограниченной видимости.

Методы, основанные на использовании симуляторов вождения, также все чаще применяются для изучения поведения водителей. Мюрер и Фоллрат [10] сосредоточились на изучении причин ошибок водителей в контексте столкновений сзади в условиях симуляции вождения. Riccardo и соавторы [11] предложили сравнительный анализ моделей случайной полезности и моделей на основе нечеткой логики для описания поведения при выборе зазоров на основе данных симуляторов вождения. В 2015 году Matsumoto and Peng [13] предложили метод получения информации о состоянии транспортного средства и сигналах светофоров для принятия решения о проезде регулируемых перекрестков, используя 3D симулятор вождения. Они выяснили, что предложенная информация эффективна для снижения выбросов CO<sub>2</sub>. Хабибович и соавторы [14] для более глубокого понимания причин возникновения критических ситуаций проанализировали видеозаписи инцидентов с участием автомобилей и пешеходов, зафиксированные камерами в автомобилях. Они выявили два основных типа причин: водители часто не замечают пешеходов, создающих конфликт, а пешеходы ведут себя неожиданно.

Исследования агрессивного и раздраженного поведения водителей описали в своих работах Kaysi and Abbany [15]. Они изучили поведение водителей на нерегулируемых перекрестках с приоритетом движения и смогли создать модель поведения водителя с «агрессивным стилем вождения». Из этих работ можно сделать вывод, что возраст водителя, мощность автомобиля и средняя скорость являются ключевыми факторами «агрессивного вождения».

В последнее время модели поведения водителей на основе клеточных автоматов [18, 19, 20] изучаются более детально. Ху и соавторы [19] использовали типичную модель клеточного автомата KKW (Kerner-Klenov-Wolf) для исследования механизма формирования незаконного перестроения для немоторизованных транспортных средств. Чен и соавторы [20] предложили модель клеточного автомата для описания движения в смешанных условиях.

Смешанные условия движения являются очень распространённым явлением в городских транспортных системах, особенно это видно в развивающихся странах, где уровень автомобилизации растет высокими темпами.

Поведение автомобилей в условиях смешанного трафика гораздо сложнее, чем в однородных транспортных потоках. Традиционные модели следования за автомобилем учитывают только потоки, состоящие из моторизованных транспортных средств одного типа. В 1974 году Wiedemann [21] предложил использовать пороговое значение поведения для различения различных режимов следования и разработал на его основе модель порогового поведения. Эта модель до сих пор считается одной из наиболее точных для использования в компьютерных симуляциях дорожного движения. Модель следования за автомобилем, реализованная в программном обеспечении VISSIM для микроскопического моделирования транспортных потоков, также основана на модели Wiedemann [21, 22]. Для однородного потока транспортных средств VISSIM успешно воспроизводит реальные условия движения. Но стоит отметить, что как раз в условиях смешанного потока данная модель может выдавать не всегда верные и адекватные результаты.

Как мы видим научные изыскания, которые связаны с поведением водителя в условиях системы ВАДС сфокусированы на потоке транспортных средств создаваемого одним средством или рассматривают смешанный транспортный поток, но не покрывают все факторы рассмотренные выше одновременно. Например, нет разработанной модели рассматривающих конфликт, возникающий между автомобилем и пешеходом, конкретно возникающий из-за нарушений пешехода правил дорожного движения (ПДД). С точки зрения системы обеспечивающей повышение пропускной способности перекрестков вопрос моделирования конфликта водителя, совершающего поворот налево и пешехода, который нарушает ПДД является актуальным. Одним из вариантов получения такой модели является использование моделей клеточных автоматов. Клеточные автоматы — это дискретные модели, в которых пространство (дорога или перекресток) разделено на ячейки, каждая из которых может находиться в одном из нескольких состояний. В случае моделирования транспортных потоков, состояния могут описывать, занята ли ячейка транспортным средством, пешеходом или свободна. Время в таких моделях также дискретно, и на каждом шаге вычисляются изменения состояния в зависимости от правил, описывающих поведение участников движения.

Модели на основе клеточных автоматов (СА-модели) часто применяются для моделирования транспортных потоков, включая конфликтные ситуации между водителями и пешеходами, особенно на перекрестках. В частности, они хорошо подходят для анализа сложных взаимодействий в условиях смешанного движения, где одновременно присутствуют моторизованные и немоторизованные участники дорожного движения, такие как пешеходы и велосипедисты.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. P. Abishai, «Поведение водителей и учет аварий на нерегулируемых городских перекрестках», Accident Analysis & Prevention, т. 17, № 1, с. 25–32, 1985.
2. P. Bonsall, R. Liu, and W. Young, «Моделирование поведения водителей, связанного с безопасностью — влияние параметров», Transportation Research Part A: Policy and Practice, т. 39, № 5, с. 425–444, 2005.
3. G. M. Bjorklund и L. Åberg, «Поведение водителей на перекрестках: формальные и неформальные правила дорожного движения», Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, т. 8, № 3, с. 239–253, 2005.

4. X. Yan и E. Radwan, «Влияние ограниченных расстояний видимости на поведение водителей при незащищенном повороте налево на регулируемых перекрестках», *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, т. 10, № 4, с. 330–344, 2007.
5. J. Zhang, K. Suto, и A. Fujiwara, «Эффекты информационного предупреждения водителей о замедлении и ускорении вблизи аркообразного перекрестка», *Accident Analysis & Prevention*, т. 41, № 5, с. 948–958, 2009.
6. T. Limanond, P. Prabjabok и K. Tiprayawong, «Исследование воздействия таймеров обратного отсчета на операции движения и поведение водителей на регулируемом перекрестке в Бангкоке», *Transport Policy*, т. 17, № 6, с. 420–427, 2010.
7. M. Elhenawy, A. Jahangiri, H. A. Rakha и I. El-Shawarby, «Моделирование поведения водителей при остановке или продолжении движения при включении желтого сигнала с учетом тенденции водителей к продолжению движения и условий дорожного покрытия», *Accident Analysis and Prevention*, т. 83, с. 90–100, 2015.
8. H. Bar-Gera, O. Musicant, E. Schechtman и T. Ze'evi, «Количественная оценка поведения водителей на желтый сигнал на основе естественных данных с цифровых камер контроля», *Accident Analysis & Prevention*, 2015.
9. D. Lin, W. Ma, L. Li и Y. Wang, «Модель движущей силы для поведения водителей при пересечении с неприоритетными действиями на правых поворотах», *Transportation Research Part B: Methodological*, т. 83, с. 230–244, 2016.
10. E. Muhrer и M. Vollrath, «Ожидания при следовании за другим автомобилем — последствия для поведения водителей в имитированной задаче вождения», *Accident Analysis and Prevention*, т. 42, № 6, с. 2158–2164, 2010.
11. R. Riccardo, G. Massimiliano, G. Gregorio и M. Claudio, «Сравнительный анализ моделей случайной полезности и моделей нечеткой логики для описания поведения водителей при принятии решения о разрыве на основе данных экспериментов с симулятором вождения», *Procedia—Social and Behavioral Sciences*, т. 54, с. 834–844, 2012.
12. F. Rosey и J.-M. Auberlet, «Конфигурация симулятора вождения влияет на поведение водителей и их контроль: пример исследований сельского перекрестка», *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, т. 27, с. 99–111, 2014.
13. Y. Matsumoto и G. Peng, «Анализ поведения водителей с информацией о пересечении регулируемого перекрестка с помощью симулятора вождения», *Transportation Research Procedia*, т. 10, с. 103–112, 2015.
14. A. Habibovic, E. Tivesten, N. Uchida, J. Bargman и M. L. Aust, «Поведение водителей при инцидентах с пешеходами: применение метода анализа надежности и ошибок вождения (DREAM)», *Accident Analysis & Prevention*, т. 50, с. 554–565, 2013.
15. I. A. Kaysi и A. S. Abbany, «Моделирование агрессивного поведения водителей на нерегулируемых перекрестках», *Accident Analysis & Prevention*, т. 39, № 4, с. 671–678, 2007.
16. S. H. Hamdar, H. S. Mahmassani и R. B. Chen, «Индекс агрессивности для оценки поведения водителей на регулируемых перекрестках», *Accident Analysis and Prevention*, т. 40, № 1, с. 315–326, 2008.
17. M. Danaf, M. Abou-Zeid и I. Kaysi, «Моделирование агрессии и агрессивного поведения водителей в динамической модели выбора с латентными переменными», *Accident Analysis & Prevention*, т. 75, с. 105–118, 2015.
18. C.-K. Chen, J. Li и D. Zhang, «Исследование поведения при эвакуации на Т-образном перекрестке с помощью модели клеточных автоматов, управляемой силой», *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, т. 391, № 7, с. 2408–2420, 2012.
19. X. Hu, W. Wang и H. Yang, «Модель смешанного потока движения с учетом нелегального изменения полосы: симуляции в рамках трехфазной теории Кернера», *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, т. 391, № 21, с. 5102–5111, 2012.
20. G. Chen, F. Meng, G. Fu, M. Deng и L. Li, «Модель клеточных автоматов для смешанного потока движения», *Procedia—Social and Behavioral Sciences*, т. 96, с. 1412–1419, 2013.
21. R. Wiedemann, *Simulation des Straßenverkehrsflusses*, т. 8 из серии *Schriftenreihe Heft*, Институт транспорта, Университет Карлсруэ, Карлсруэ, Германия, 1974.
22. R. Wiedemann, «Моделирование элементов транспортной информации на многополосных дорогах», в *Drive Conference*, т. 2, Брюссель, Бельгия, 1991.

## REFERENCES

1. P. Abishai, «Поведение водителей и учет аварий на нерегулируемых городских перекрестках», *Accident Analysis & Prevention*, т. 17, № 1, с. 25–32, 1985.
2. P. Bonsall, R. Liu, and W. Young, «Моделирование поведения водителей, связанного с безопасностью — влияние параметров», *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, т. 39, № 5, с. 425–444, 2005.
3. G. M. Bjorklund и L. Åberg, «Поведение водителей на перекрестках: формальные и неформальные правила дорожного движения», *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, т. 8, № 3, с. 239–253, 2005.
4. X. Yan и E. Radwan, «Влияние ограниченных расстояний видимости на поведение водителей при незащищенном повороте налево на регулируемых перекрестках», *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, т. 10, № 4, с. 330–344, 2007.
5. J. Zhang, K. Suto, и A. Fujiwara, «Эффекты информационного предупреждения водителей о замедлении и ускорении вблизи аркообразного перекрестка», *Accident Analysis & Prevention*, т. 41, № 5, с. 948–958, 2009.
6. T. Limanond, P. Prabjabok и K. Tiprayawong, «Исследование воздействия таймеров обратного отсчета на операции движения и поведение водителей на регулируемом перекрестке в Бангкоке», *Transport Policy*, т. 17, № 6, с. 420–427, 2010.
7. M. Elhenawy, A. Jahangiri, H. A. Rakha и I. El-Shawarby, «Моделирование поведения водителей при остановке или продолжении движения при включении желтого сигнала с учетом тенденции водителей к продолжению движения и условий дорожного покрытия», *Accident Analysis and Prevention*, т. 83, с. 90–100, 2015.
8. H. Bar-Gera, O. Musicant, E. Schechtman и T. Ze'evi, «Количественная оценка поведения водителей на желтый сигнал на основе естественных данных с цифровых камер контроля», *Accident Analysis & Prevention*, 2015.
9. D. Lin, W. Ma, L. Li и Y. Wang, «Модель движущей силы для поведения водителей при пересечении с неприоритетными действиями на правых поворотах», *Transportation Research Part B: Methodological*, т. 83, с. 230–244, 2016.
10. E. Muhrer и M. Vollrath, «Ожидания при следовании за другим автомобилем — последствия для поведения водителей в имитированной задаче вождения», *Accident Analysis and Prevention*, т. 42, № 6, с. 2158–2164, 2010.
11. R. Riccardo, G. Massimiliano, G. Gregorio и M. Claudio, «Сравнительный анализ моделей случайной полезности и моделей нечеткой логики для описания поведения водителей при принятии решения о разрыве на основе данных экспериментов с симулятором вождения», *Procedia—Social and Behavioral Sciences*, т. 54, с. 834–844, 2012.
12. F. Rosey и J.-M. Auberlet, «Конфигурация симулятора вождения влияет на поведение водителей и их контроль: пример исследований сельского перекрестка», *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, т. 27, с. 99–111, 2014.
13. Y. Matsumoto и G. Peng, «Анализ поведения водителей с информацией о пересечении регулируемого перекрестка с помощью симулятора вождения», *Transportation Research Procedia*, т. 10, с. 103–112, 2015.
14. A. Habibovic, E. Tivesten, N. Uchida, J. Bargman и M. L. Aust, «Поведение водителей при инцидентах с пешеходами: применение метода анализа надежности и ошибок вождения (DREAM)», *Accident Analysis & Prevention*, т. 50, с. 554–565, 2013.
15. I. A. Kaysi и A. S. Abbany, «Моделирование агрессивного поведения водителей на нерегулируемых перекрестках», *Accident Analysis & Prevention*, т. 39, № 4, с. 671–678, 2007.
16. S. H. Hamdar, H. S. Mahmassani и R. B. Chen, «Индекс агрессивности для оценки поведения водителей на регулируемых перекрестках», *Accident Analysis and Prevention*, т. 40, № 1, с. 315–326, 2008.
17. M. Danaf, M. Abou-Zeid и I. Kaysi, «Моделирование агрессии и агрессивного поведения водителей в динамической модели выбора с латентными переменными», *Accident Analysis & Prevention*, т. 75, с. 105–118, 2015.

18. С.-К. Chen, J. Li и D. Zhang, «Исследование поведения при эвакуации на Т-образном перекрестке с помощью модели клеточных автоматов, управляемой силой», *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, т. 391, № 7, с. 2408–2420, 2012.
19. X. Hu, W. Wang и H. Yang, «Модель смешанного потока движения с учетом нелегального изменения полосы: симуляции в рамках трехфазной теории Кернера», *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, т. 391, № 21, с. 5102–5111, 2012.
20. G. Chen, F. Meng, G. Fu, M. Deng и L. Li, «Модель клеточных автоматов для смешанного потока движения», *Procedia—Social and Behavioral Sciences*, т. 96, с. 1412–1419, 2013.
21. R. Wiedemann, *Simulation des Straßenverkehrsflusses*, т. 8 из серии *Schriftenreihe Heft*, Институт транспорта, Университет Карлсруэ, Карлсруэ, Германия, 1974.
22. R. Wiedemann, «Моделирование элементов транспортной информации на многополосных дорогах», в *Drive Conference*, т. 2, Брюссель, Бельгия, 1991.



## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СЕЗОННОГО СПРОСА НА ЗАПАСНЫЕ ЧАСТИ В МУЛЬТИБРЕНДОВЫХ АВТОСЕРВИСАХ ОСТРОВНОЙ ЭКОНОМИКИ: ПОДХОД НА ОСНОВЕ ДАННЫХ (КИПР)

Джованнис Симос <sup>1</sup>, В.И Сарбаев <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>. ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», г. Москва, Россия,

<sup>1</sup> visarbaev@gmail.com

**Аннотация.** Статья посвящена разработке методики прогнозирования сезонного спроса на запасные части для мультибрендовых автосервисных центров Республики Кипр. Предложена математическая модель на основе многофакторной регрессии с учетом сезонности туристических потоков и специфики островной логистики. Апробация методики показала снижение средней ошибки прогноза до 14% и повышение уровня обслуживания до 95,8%.

**Ключевые слова:** прогнозирование спроса, запасные части, автосервис, островная экономика, сезонность, управление запасами, Кипр, регрессионная модель

## FORECASTING SEASONAL DEMAND FOR SPARE PARTS IN MULTI-BRAND AUTO SERVICE CENTERS IN ISLAND ECONOMY: DATA-DRIVEN APPROACH (CYPRUS)

Tziovannis Simos <sup>1</sup>, V.I Sarbaev <sup>2</sup>

<sup>1,2,3</sup> Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia,

<sup>1</sup> visarbaev@gmail.com

**Abstract.** The article focuses on developing a methodology for forecasting seasonal demand for spare parts in multi-brand auto service centers in the Republic of Cyprus. A mathematical model based on multifactorial regression is proposed, taking into account the seasonality of tourist flows and the specifics of island logistics. The methodology validation showed a reduction in average forecast error to 14% and an increase in service level to 95.8%.

**Keywords:** demand forecasting, spare parts, auto service, island economy, seasonality, inventory management, Cyprus, regression model

Управление запасами запасных частей представляет собой одну из критических задач для автосервисных предприятий, особенно в условиях островной экономики. Республика Кипр, характеризующаяся удаленностью от основных логистических центров Европы и выраженной сезонностью туристических потоков, создает уникальные вызовы для организации бесперебойного снабжения автосервисных центров необходимыми комплектующими. Средний возраст автомобильного парка страны составляет 13,2 года, что определяет высокий спрос на запасные части, при этом на запасы приходится от 40 до 85 процентов оборотных активов автосервисных предприятий.

Специфика кипрского рынка автосервисных услуг заключается в преобладании мультибрендовых предприятий малого и среднего бизнеса, составляющих более 80 процентов от общего числа зарегистрированных автосервисных центров. Это обуславливает необходимость управления широкой номенклатурой запасных частей при

ограниченных складских площадях и финансовых ресурсах. Низкая средняя рентабельность автосервисного бизнеса на Кипре, составляющая 3,16 процента за последние годы, делает критически важной оптимизацию всех бизнес-процессов, включая управление запасами.

Традиционные методы расчета потребности в запасных частях, разработанные для автотранспортных предприятий с известной структурой парка, не учитывают стохастический характер обращений в независимые автосервисные центры [3,5,6]. Существующие подходы, основанные на нормативах или простой экстраполяции исторических данных, не обеспечивают требуемой точности прогнозирования в условиях высокой неопределенности спроса и множественных факторов влияния [1,2,8]. В связи с этим актуальной становится разработка адаптивных методов, сочетающих преимущества математического моделирования с учетом специфических условий функционирования автосервисных предприятий в островной экономике [4,7].

Целью настоящего исследования является разработка методики прогнозирования сезонного спроса на запасные части для мультибрендовых автосервисных центров с учетом особенностей островной экономики Республики Кипр. Исследование базируется на трехлетних данных автосервисного центра в городе Лимассол, обрабатывающего в среднем двадцать пять автомобилей в сутки и поддерживающего номенклатуру более девятистот позиций запасных частей.

Методологическую основу исследования составляет многофакторная регрессионная модель, учитывающая комплекс детерминант спроса на запасные части. Предложенная классификация факторов включает конструкционные характеристики автомобилей, эксплуатационные параметры, технологические аспекты обслуживания, организационные особенности автосервисного бизнеса, а также компоненты устойчивого развития в рамках концепции экологической, социальной и управленческой ответственности. Для условий Кипра особое значение приобретают сезонный фактор, связанный с туристическими потоками, увеличивающими спрос на быстроизнашиваемые детали на сорок-шестьдесят процентов в летний период, и логистические ограничения островного государства.

Математическая модель прогнозирования спроса представлена в виде степенной регрессии, где зависимая переменная отражает расход конкретной запасной части, а независимые переменные включают глубину модельного ряда обслуживаемых автомобилей, средний возраст автопарка, интенсивность эксплуатации, показатели качества технического обслуживания, уровень применения инновационных технологий, степень специализации автосервисного центра, объем расхода в предыдущем периоде, индекс цен на запасные части, а также показатель углеродной эмиссии от логистических операций. Сезонная компонента моделируется с использованием гармонических функций, позволяющих учитывать циклические колебания спроса в течение года [2].

Для построения модели использовались ежемесячные данные о расходе запасных частей за тридцать шесть месяцев по пяти основным категориям, включающим тормозные колодки, датчики кислорода, топливные насосы, ремни газораспределительного механизма и ступицы колес. Анализ динамики расхода выявил различные паттерны спроса: от относительно стабильного с выраженной сезонностью для быстроизнашиваемых расходников до высоковолатильного со случайными всплесками для редко востребованных узлов. Коэффициент вариации спроса колеблется от 0,25 для тормозных колодок до 0,60 для топливных насосов, что требует дифференцированного подхода к управлению различными категориями номенклатуры.

В таблице 1 представлены основные характеристики спроса на исследуемые категории запасных частей, полученные на основе анализа статистических данных автосервисного центра.

Таблица 1 – Характеристики спроса на основные категории запасных частей  
Table 1 – Demand characteristics for main spare parts categories

Категория запчастей	Средний расход, шт/мес	Коэфф. вариации	Уровень сервиса, %
Тормозные колодки	430	0,25	98,5
Датчики кислорода	28	0,42	95,8
Топливные насосы	3,2	0,58	92,3
Ремни ГРМ	18	0,31	96,7
Ступицы колес	6,5	0,49	93,4

Представленные в таблице 1 данные свидетельствуют о значительной вариативности спроса по различным категориям запасных частей. Тормозные колодки демонстрируют наиболее высокий средний расход и стабильность, что обусловлено их регулярной заменой в рамках планового технического обслуживания. Топливные насосы характеризуются низким средним расходом, но высокой вариативностью, что связано со случайным характером их выхода из строя. Достигнутые уровни сервиса отражают фактическую доступность соответствующих запасных частей на складе в момент обращения клиента.

Анализ сезонных колебаний спроса проводился методом хронологических средних с расчетом индексов сезонности для каждого месяца года. Для тормозных колодок индекс сезонности варьируется от 0,85 в апреле-мае до 1,20 в июле-августе, что отражает влияние туристического сезона на интенсивность эксплуатации арендных автомобилей. Графическое представление сезонной динамики спроса приведено на рисунке 1.



Рисунок 1 – Сезонная динамика спроса на тормозные колодки  
Figure 1 – Seasonal dynamics of demand for brake pads

Представленная на рисунке 1 динамика наглядно демонстрирует устойчивый рост спроса в летние месяцы с пиковыми значениями в июле и сентябре. Зимний период характеризуется относительно стабильным спросом с небольшим снижением в конце года, связанным с сокращением количества рабочих дней и откладыванием несрочных ремонтов. Весенний период показывает умеренный рост, обусловленный подготовкой автомобилей к летнему сезону.

Разработанная регрессионная модель была откалибрована методом наименьших квадратов с использованием робастных оценок для минимизации влияния выбросов. Валидация модели на независимой тестовой выборке, составляющей двадцать процентов от общего объема данных, показала ее высокую прогностическую способность. Средняя абсолютная процентная ошибка составила менее пятнадцати процентов для категорий со стабильным спросом и менее двадцати пяти процентов для волатильных категорий. Коэффициент детерминации превысил 0,82 для всех исследованных категорий запасных частей.

Практическая апробация разработанной методики в реальных условиях автосервисного центра осуществлялась в течение двенадцати месяцев с поэтапным внедрением алгоритмов прогнозирования. На первом этапе методика применялась для категории быстрооборачиваемых запасных частей, на втором этапе охват был расширен на позиции средней оборачиваемости, на третьем этапе осуществлено полномасштабное внедрение по всей номенклатуре. Результаты внедрения показали повышение уровня сервиса с 87,3 до 95,8 процента, увеличение оборачиваемости запасов с 8,2 до 11,7 раз в год, снижение среднего уровня запасов на 24,1 процента при одновременном сокращении случаев дефицита в 4,4 раза.

Экономический эффект от внедрения методики составил 58,5 тысяч евро в год при инвестициях 42,3 тысячи евро, обеспечивая срок окупаемости менее девяти месяцев. Структура экономического эффекта включает снижение затрат на хранение за счет оптимизации уровня запасов, сокращение потерь от дефицита и упущенной выгоды, оптимизацию транспортных расходов через консолидацию заказов, экономию от высвобождения оборотного капитала. Дополнительно достигнуто снижение углеродного следа от логистических операций на тридцать один процент за счет сокращения количества поставок на двадцать три процента и увеличения средней загрузки транспорта с шестидесяти двух до восьмидесяти четырех процентов.

Анализ чувствительности показал устойчивость разработанной методики к вариации ключевых параметров внешней среды. При изменении спроса в пределах плюс-минус двадцать процентов от прогнозных значений снижение эффективности системы не превышает пять-семь процентов, что подтверждает робастность алгоритмов. Имитационное моделирование методом Монте-Карло с генерацией десяти тысяч сценариев возможного спроса подтвердило высокую надежность прогнозов при различных реализациях случайных факторов.

Предложенная методика учитывает специфические ограничения, характерные для автосервисных центров островной экономики, включая ограниченность складских площадей, минимальные партии поставки, различные сроки доставки от одного-двух дней для локальных поставщиков до двух-трех недель для импорта, а также необходимость поддержания высокого уровня сервиса в условиях интенсивной конкуренции. Разработанные дифференцированные алгоритмы управления запасами для различных категорий номенклатуры позволяют оптимизировать баланс между затратами на хранение и уровнем обслуживания клиентов.

Таким образом, разработанная методика прогнозирования сезонного спроса на запасные части демонстрирует высокую эффективность при применении в мультибрендовых автосервисных центрах островной экономики. Учет комплекса факторов, включая сезонность туристических потоков, логистические ограничения и требования устойчивого развития, позволяет достичь существенного повышения точности прогнозов и экономических показателей деятельности автосервисных предприятий. Методика может быть адаптирована для применения в других странах со схожими условиями функционирования автосервисного бизнеса, что определяет ее практическую значимость и перспективы дальнейшего развития.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бугримов, В. А. Статистическая основа имитационного моделирования системы управления запасами предприятия автосервиса / В. А. Бугримов, А. А. Шутов, А. А. Данилов // Мир транспорта и технологических машин. – 2017. – № 1. – С. 132–138.
- 2 Гришин, А. С. Разработка методики прогнозирования потребности предприятий автосервиса в запасных частях : : 05.22.10 / Гришин Александр Сергеевич. – М., 2005. – 153 с.
- 3 Гулый, В. В. Методика прогнозирования потребности и оптимизации количества запасных частей дилерской сети станций технического обслуживания : : 05.22.10 / Гулый Владислав Вячеславович. – М., 2022. – 150 с.
- 4 Крамаренко, Е. Р. Модель управления запасами в автосервисе / Е. Р. Крамаренко, И. А. Никулин, А. В. Щербакова // Исследование и проектирование интеллектуальных систем в автомобилестроении, авиастроении и машиностроении : сборник статей. – 2019. – С. 128–131.
- 5 Абдулрахман, М. Д. Повышение гибкости и устойчивости цепочки поставок автомобильных запчастей / М. Д. Абдулрахман, Р. К. Субраманьян, С. К. Хуэй [и др.] // Науки социально-экономического планирования. – 2022. – Том 85. – Артикул 101401.
- 6 Чен, С. Интегрированный подход, основанный на глубоком обучении, для прогнозирования технического обслуживания автомобилей с использованием данных ГИС / С. Чен, Дж. Лю, Х. Ву [и др.] // Инженерия надежности и безопасность систем. – 2021. – Том 216. – Артикул 107919.
- 7 Рамос, Э. Модель управления запасами, основанная на бережливой цепочке поставок, для повышения уровня обслуживания дистрибьютора автомобильного сектора / Э. Рамос, Д. Рокас, Э. Уэрта [и др.] // Международный журнал управления цепочками поставок. – 2020. – Том 9, № 2. – С. 113-131.
- 8 Шен, З. Дж. М. Оптимизационные модели для обслуживания электромобилей: обзор литературы / З. Дж. М. Шен, М. Фенг, К. Мао, Л. Ран // Транспортные исследования, часть В: Методология. – 2019. – Том 128. – С. 462-477.

## REFERENCES

- 1 Bugrimov, V. A. Statistical basis of simulation modeling of the inventory management system of a car service enterprise / V. A. Bugrimov, A. A. Shutov, A. A. Danilov // The world of transport and technological machines. – 2017. – No. 1. – pp. 132-138.
- 2 Grishin, A. S. Development of a methodology for predicting the needs of car service enterprises in spare parts : : 05.22.10 / Grishin Alexander Sergeevich, Moscow, 2005– 153 p.
- 3 Gulyi, V. V. Methodology for predicting the need and optimizing the number of spare parts in the dealer network of service stations : 05.22.10 / Gulyi Vladislav Vyacheslavovich. Moscow, 2022, 150 p.
- 4 Kramarenko E. R., Nikulin I. A., Shcherbakova A.V. Inventory management model in a car service station // Research and design of intelligent systems in the automotive, aircraft, and mechanical engineering industries : a collection of articles. – 2019. – pp. 128-131.
- 5 Abdulrahman, M. D. Increasing the flexibility and sustainability of the automotive spare parts supply chain / M. D. Abdulrahman, R. K. Subramanian, S. K. Hui [et al.] // Sciences of socio-economic planning. – 2022. – Volume 85. – Article 101401.
- 6 Chen, S. Integrated approach based on deep learning for predicting vehicle maintenance using GIS data / S. Chen, J. Liu, H. Wu [et al.] // Reliability engineering and system security. – 2021. – Volume 216. – Article 107919.
- 7 Ramos, E. An inventory management model based on a lean supply chain to improve the service level of an automotive distributor / E. Ramos, D. Rojas, E. Huerta [et al.] // International Journal of Supply Chain Management. 2020. Volume 9, No. 2. pp. 113-131.
- 8 Shen, Z. J. M. Optimization models for electric vehicle maintenance: a review of the literature / Z. J. M. Shen, M. Feng, K. Mao, L. Ran // Transport Research, part B: Methodology. – 2019. – Volume 128. – pp. 462-477.

## КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ РЕГИОНА

А.А. Штепа

Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова,  
г. Воронеж, Россия, e-mail: alexei\_shtepa@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматриваются концептуальные основы формирования и функционирования системы транспортного обслуживания региона как ключевого элемента обеспечения его устойчивого социально-экономического развития. Проанализированы сущность, принципы и элементы системы транспортного обслуживания региона в контексте воспроизводственного, системного и кластерного подходов. Исследованы особенности государственного регулирования транспортной деятельности в условиях рыночной экономики, выявлены современные проблемы и определены перспективные направления развития региональной транспортной инфраструктуры. Внимание также уделено роли цифровых технологий и интеллектуальных транспортных систем в повышении эффективности и безопасности транспортного обслуживания.

**Ключевые слова:** система, транспортное обслуживание, транспортная инфраструктура, региональное развитие, государственное регулирование, управление транспортом, цифровизация, устойчивое развитие, кластерный подход.

## CONCEPTUAL FOUNDATIONS OF THE REGIONAL TRANSPORT SERVICE SYSTEM

A.A. Shtepa

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,  
Voronezh, Russia, e-mail: alexei\_shtepa@mail.ru

**Abstract.** The article examines the conceptual foundations of the formation and functioning of the regional transport service system as a key element for ensuring its sustainable socio-economic development. The essence, principles, and elements of the regional transport service system are analyzed within the context of reproductive, systemic, and cluster approaches. The features of state regulation of transport activities in a market economy are investigated, contemporary problems are identified, and promising directions for the development of regional transport infrastructure are defined. Attention is also paid to the role of digital technologies and intelligent transport systems in enhancing the efficiency and safety of transport services.

**Keywords:** system, transport service, transport infrastructure, regional development, state regulation, transport management, digitalization, sustainable development, cluster approach.

Ключевым стратегическим приоритетом для России в условиях рыночных отношений является осуществление продуманной государственной политики в территориальном аспекте, нацеленной на достижение устойчивого и гармоничного развития регионов и сокращение существующей между ними асимметрии. Основу для решения этой задачи создает модернизация транспортной, энергетической и информационной инфраструктуры, которая способствует реальной консолидации

национального экономического пространства [3]. При этом региональный транспортный комплекс, будучи неотъемлемым элементом экономики, должен гарантировать ее стабильную и эффективную работу. Оптимизация управления на территориальном уровне, включая автотранспортную сферу, требует налаженного взаимодействия всех органов власти и действенного государственного регулирования социальных и экономических процессов.

Актуальность исследования концептуальных основ системы транспортного обслуживания региона обусловлена необходимостью адаптации механизмов управления к современным рыночным условиям, внедрения инновационных и цифровых технологий, а также поиска новых подходов к повышению конкурентоспособности, сбалансированности и безопасности транспортной отрасли. Одним из таких действенных подходов является кластерный, получивший широкое распространение в мировой практике [2,3].

Стабильность и эффективность региональной экономики находятся в прямой зависимости от сбалансированного и продуманного развития ее ключевых инфраструктурных составляющих – производственной и социальной. Среди них транспортному комплексу принадлежит особая, системообразующая роль, поскольку он выступает основным связующим звеном между всеми элементами хозяйственной системы. Его влияние носит мультипликативный характер, то есть инвестиции и инновации в транспортной сфере стимулируют рост и повышают эффективность в смежных отраслях, создавая тем самым социальный и экономический положительный эффект для всего региона.

Сама система транспортного обслуживания представляет собой сложный механизм, состоящий из взаимосвязанных элементов, чье слаженное взаимодействие направлено на полное и своевременное удовлетворение спроса на перевозки грузов и пассажиров как внутри региона, так и в рамках его внешних связей. Важно подчеркнуть, что данная система является открытой, что предполагает ее постоянное и активное взаимодействие с внешней экономической средой и другими региональными подсистемами. Фундамент этой системы образуют несколько ключевых субъектов: это предприятия транспорта общего пользования, ведомственные и корпоративные транспортные подразделения, частные перевозчики, а также органы государственной и муниципальной власти, выполняющие регулирующие и управленческие функции на различных административных уровнях [1].

Система транспортного обслуживания региона базируется на ряде фундаментальных принципов, в частности:

1. Комплексность и системность, то есть рассмотрение транспорта как неотъемлемой части единой социально-экономической системы региона;
2. Открытость, то есть учет влияния внешней среды и межрегиональных связей;
3. Сбалансированность, то есть согласование интересов производителей и потребителей транспортных услуг.
4. Устойчивость, то есть обеспечение надежности и бесперебойности транспортного обслуживания в условиях изменяющейся внешней среды.
5. Инновационность, то есть ориентация на внедрение новых технологий и методов управления.

Применение воспроизводственного подхода дает возможность изучать региональные транспортные системы в их системной взаимосвязи со всеми фазами расширенного воспроизводства, а именно с процессами воспроизводства ключевых региональных ресурсов – человеческого капитала, основных средств, финансовых инструментов и экосистемы.

Развитие рыночных отношений в России привело к разрушению ранее существовавшей отраслевой системы управления автомобильным транспортом. На смену ей пришел региональный подход, в большей степени отвечающий федеративному устройству государства и условиям рыночной среды. Однако первоначальный переходный период сопровождался рядом негативных явлений: ростом аварийности, снижением коэффициента выпуска подвижного состава, падением объемов услуг [2, 3].

В сложившихся экономических реалиях формирование эффективного механизма государственного регулирования транспортного комплекса стало объективной необходимостью и ключевым условием его адаптации к требованиям рыночной среды. Данная система представляет собой комплекс взаимосвязанных мер нормативно-правового, административного и экономического характера, которые реализуются уполномоченными органами государственной власти. Ключевой задачей этого регулирования является обеспечение стабильности, устойчивости и способности транспортной системы гибко реагировать на вызовы динамично меняющейся внешней среды [3].

Функционирование такой системы регулирования сосредоточено на ряде приоритетных направлений, среди которых центральное место занимают следующие ключевые объекты воздействия:

1. Система эксплуатации транспортных средств и безопасность дорожного движения;
2. Система обслуживания клиентуры транспортных предприятий;
3. Экологическая безопасность;
4. Тарифная и инвестиционная политика;
5. Защита от недобросовестной конкуренции.

Методы регулирования транспортной деятельности можно классифицировать на несколько групп:

1. Нормативно-правовые: лицензирование, правила дорожного движения, уставы, стандарты (экологические, технические);
2. Экономические: налоги, тарифы, субсидии, кредиты, штрафные санкции;
3. Административные: квоты, разрешения (например, на международные перевозки), ограничения.

Современными вызовами для системы транспортного обслуживания региона являются:

1. Высокая степень неопределенности внешней среды;
2. Рост конкуренции на рынке транспортных услуг;
3. Необходимость значительных инвестиций в обновление подвижного состава и инфраструктуры;
4. Ужесточение требований к экологической и дорожной безопасности;
5. Неравномерность транспортного развития отдельных территорий региона.

Для преодоления существующих вызовов в области транспортного обслуживания региона и перехода на этап инновационного развития необходима смена парадигмы управления транспортным комплексом региона. Одним из наиболее эффективных инструментов является кластерный подход [1].

Транспортно-логистический кластер представляет собой географическую концентрацию взаимосвязанных предприятий, специализированных поставщиков, поставщиков услуг, научно-исследовательских организаций и образовательных учреждений в области транспорта и логистики, действующих в определенном регионе и взаимодействующих на основе партнерства. Формирование таких кластеров позволяет повысить конкурентоспособность региональной транспортной системы, стимулировать



инновационную активность, снизить транзакционные издержки и обеспечить синергетический эффект от интеграции усилий участников.

Другим ключевым направлением развития системы транспортного обслуживания региона является ее цифровая трансформация. Внедрение информационных технологий и интеллектуальных транспортных систем кардинально меняет подходы к управлению перевозками. К перспективным цифровым решениям относятся:

1. Транспортная телематика и системы спутниковой навигации, применяемые с целью мониторинга и управления транспортными потоками, оптимизации маршрутов, контроля расхода топлива и повышения безопасности;

2. Большие данные и искусственный интеллект, применяемые с целью прогнозирования спроса, предиктивного анализа состояния инфраструктуры и автотранспортных средств.

3. Цифровые платформы, применяемые с целью интеграции участников транспортного рынка, автоматизации документооборота и предоставления услуг в режиме «одного окна».

Внедрение этих технологий способствует повышению пропускной способности дорог, снижению числа ДТП, оптимизации логистических издержек и улучшению экологической обстановки.

Проведенное исследование позволяет сделать вывод, что система транспортного обслуживания региона является не просто инфраструктурным каркасом, а сложной, открытой и высокодинамичной социально-экономической системой, глубоко интегрированной во все сферы жизнедеятельности территории. Ее устойчивость и пропускная способность напрямую зависят от качества управленческих решений и адаптивности к изменяющимся условиям. Таким образом, уровень развития и эффективность данной системы являются интегральным показателем и одновременно необходимым условием для обеспечения сбалансированного и поступательного развития региона в целом.

Концептуальные основы системы транспортного обслуживания региона базируются на принципах комплексности, сбалансированности, устойчивости и инновациях. Ключевыми элементами системы являются не только субъекты перевозочной деятельности, но и органы государственного регулирования, которые обеспечивают ее целостность и управляемость.

Современное развитие системы транспортного обслуживания региона требует сочетания эффективного государственного регулирования, основанного на системе нормативно-правовых, экономических и административных мер, с активным внедрением рыночных механизмов и инновационных подходов. Наиболее перспективными направлениями совершенствования транспортного обслуживания региона являются формирование и развитие транспортно-логистических кластеров для обеспечения синергетического эффекта, активная цифровая трансформация отрасли, внедрение интеллектуальных транспортных систем, технологий больших данных и интернета вещей, и развитие государственно-частного партнерства для привлечения инвестиций в модернизацию транспортной инфраструктуры.

Реализация этих направлений позволит не только повысить эффективность и безопасность транспортного обслуживания, но и создать прочный фундамент для долгосрочного устойчивого социально-экономического развития регионов Российской Федерации.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Беданов, М. К. Совершенствование управления системой транспортного обслуживания региона : монография / М. К. Беданов, Н. Г. Машинина ; Беданов М. К.,

Машинина Н. Г. ; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования Майкопский гос. технологический ун-т. – Майкоп : Магарин О. Г., 2011. – 199 с.

2. Развитие финансовых и учетно-контрольных инструментов в условиях цифровой трансформации экономики / И. В. Алексеева, О. В. Андреева, И. Н. Богатая [и др.]. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью «Русайнс», 2025. – 400 с.

3. Штепа, А. А. Управление процессами принятия решений в организационных системах автотранспортных предприятий на основе аппарата стохастического моделирования : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Штепа Алексей Анатольевич, 2024. – 149 с.

## REFERENCES

1. Bedanokov, M. K. Improving the Management of the Regional Transport Service System: monograph / M. K. Bedanokov, N. G. Mashinina ; Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education Maikop State Technological University. – Maikop : Magarin O. G., 2011. – 199 p.

2. Development of Financial, Accounting and Control Tools in the Context of Digital Transformation of the Economy / I. V. Alekseeva, O. V. Andreeva, I. N. Bogataya [et al.]. – Moscow : Limited Liability Company «Rusains», 2025. – 400 p.

3. Shtepa, A. A. Managing Decision-Making Processes in Organizational Systems of Motor Transport Enterprises Based on Stochastic Modeling Tools: dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / Aleksey Anatolyevich Shtepa, 2024. – 149 p.

## Секция 2. Интеллектуальные транспортные системы, искусственный интеллект на транспорте

УДК 65.011

DOI: 10.58168/MSTT2025\_38-43

### ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЛОГИСТИКЕ И НА ТРАНСПОРТЕ

Н.Ю. Митяков <sup>1</sup>, Ю.Н. Ризаева <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> ФГОБУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации»,  
г. Москва, Россия

<sup>1</sup> nikolajmitakov8@gmail.com

<sup>2</sup> rizaeva.u.n@yandex.ru

**Аннотация:** в статье рассматриваются вопросы применения цифровых технологий в логистике и на транспорте в РФ, приводятся статистические данные об использовании инновационных технологий российскими организациями за последние годы, а также примеры реальных кейсов российских компаний по внедрению технологий искусственного интеллекта в своей деятельности.

**Ключевые слова:** цифровые технологии, искусственный интеллект, логистика, статистические данные.

### DIGITAL TECHNOLOGIES IN LOGISTICS AND TRANSPORT

N. Yu. Mityakov <sup>1</sup>, Yu. N. Rizaeva <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education «Financial University  
under the Government of the Russian Federation»,  
Moscow, Russia

<sup>1</sup> nikolajmitakov8@gmail.com

<sup>2</sup> rizaeva.u.n@yandex.ru

**Abstract:** this article discusses the use of digital technologies in logistics and transport in the Russian Federation, provides statistical data on the use of innovative technologies by Russian organizations in recent years, as well as examples of real-world cases of Russian companies implementing artificial intelligence technologies in their activities.

**Keywords:** digital technologies, artificial intelligence, logistics, and statistical data.

В настоящее время цифровые технологии присутствуют везде. Преимущества, которые дают цифровые технологии очевидны – это точность обработки данных, скорость вычислений, оперативность в передачи информации, минимизация затрат и многие другие.

В складской логистике цифровые технологии применяются для сборки заказов, планирования и автоматизации заказа, поддержания оптимального уровня запаса, инвентаризации, прогнозирования спроса. В транспортной логистике – для построения оптимальных маршрутов, электронного документооборота, отслеживания заказов по трек-номеру, маркировки грузов с помощью RFID-меток. В городах активно внедряются интеллектуальные транспортные системы. Это светофоры с поддержкой V2I, которые переходят в разные режимы работы в зависимости от дорожной ситуации, системы информирования пассажиров транспорта общего пользования о местоположении и

времени прибытия автобусов, системы фото- и видео мониторинга для отслеживания дорожной ситуации.

На федеральном уровне проводится серьезная работа по внедрению цифровых технологий в логистике и на транспорте. Согласно докладу о результатах деятельности Минтранса РФ за 2024 год в таблице 1 систематизированы основные мероприятия в области цифровизации на транспорте и в логистике и результаты деятельности Министерства транспорта РФ.

Таблица 1 - Мероприятия в области цифровых технологий в логистике и на транспорте  
Table 1 - Digital technologies in logistics and transportation

Мероприятие	Результат
Беспилотные транспортные системы	Выполнение плана грузоперевозок высокоавтоматизированными транспортными средствами 4-го уровня автоматизации (ВАТС) на автомобильной дороге М-11 «Нева» – 390,3 тыс. кубических метров грузов. Коммерческий грузооборот с ВАТС на автомобильной дороге М-11 «Нева» – 242,4 млн кубических метров-километров.
Интегрированная система пропуска через государственную границу РФ	На границе с Республикой Азербайджан на МАПП Тагиркент-Казмаляр был реализован проект цифрового двойника пункта пропуска: установлены 55 интеллектуальных комплексов видеофиксации и интегрированы 9 программно-аппаратных комплексов объективного контроля.
ФГИС «Такси»	Обеспечивает возможность пассажирам проверить легальность перевозчика и авто, повышает уровень прозрачности отрасли и контроля за ней.
Национальная цифровая транспортно-логистическая платформа Российской Федерации «ГосЛог»	Принято постановление Правительства РФ от 3 июля 2024 г. № 908 «О проведении на территории Российской Федерации эксперимента по созданию, апробации и внедрению информационной системы «Национальная цифровая транспортно-логистическая платформа» для оформления перевозок грузов».
Электронная очередь	Всего в системе зарегистрировано более 39 тыс. транспортных средств, более 235 тыс. заявок на резервирование времени исполнено.
Система отслеживания перевозок товаров с применением электронных навигационных пломб	В 2024 году применение Системы отслеживания перевозок товаров с использованием навигационных пломб позволило проследовать транзитом через территорию РФ.
Государственная информационная система электронных перевозочных документов	По итогам 2024 года в Государственную информационную систему электронных перевозочных документов (ГИС ЭПД) получено более 8,2 млн документов (всего в системе более 10 млн документов).
Государственная автоматизированная информационная система «ЭРА-ГЛОНАСС»	К Государственной автоматизированной информационной системе «ЭРА-ГЛОНАСС» подключено 12 195 834 транспортных средства (1 975 646 транспортных средств за 2024 год).
Сервис бесконтактной оплаты проезда с применением геолокации (OpenLoop)	В рамках научно-технической деятельности Минтранса России разработана технология бесконтактной оплаты проезда с применением геолокации OpenLoop.

По данным Росстата затраты на инновационную деятельность организаций, занимающихся транспортом и хранением, в 2023 году заметно выросли по сравнению с 2022 годом и составили 404 971,4 млн. руб., а в 2024 году они составили 330 090,7 млн. руб. (рис. 1) [1].

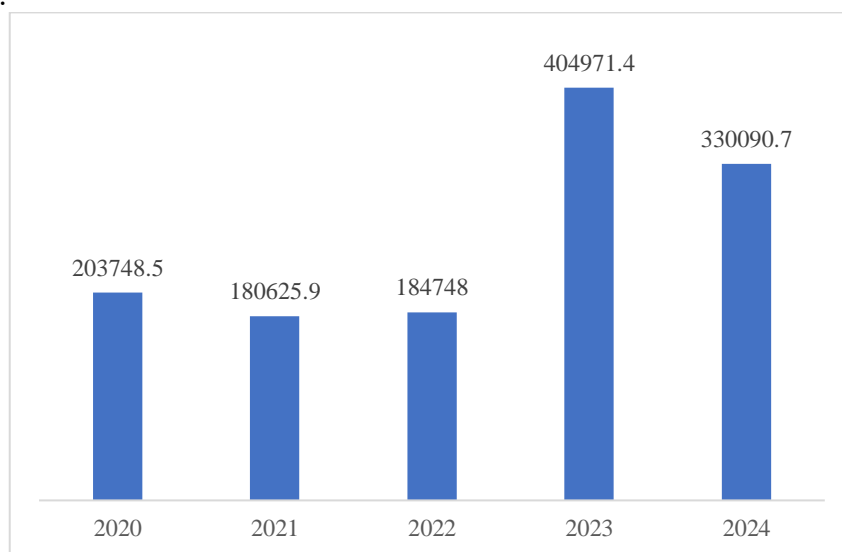


Рисунок 1 - Затраты на инновационную деятельность организаций, занимающихся транспортом и хранением, млн. руб.

Figure 1 – Expenditures on innovative activities of transport and storage organizations, million rubles

Удельный вес инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг по Российской Федерации в организациях, занимающихся транспортом и логистикой согласно данным Росстата остается небольшим и в 2020-2024 годах не превышал 1,2%, причем наибольшее значение наблюдалось в 2020 году в период пандемийных ограничений (рис. 2) [1].

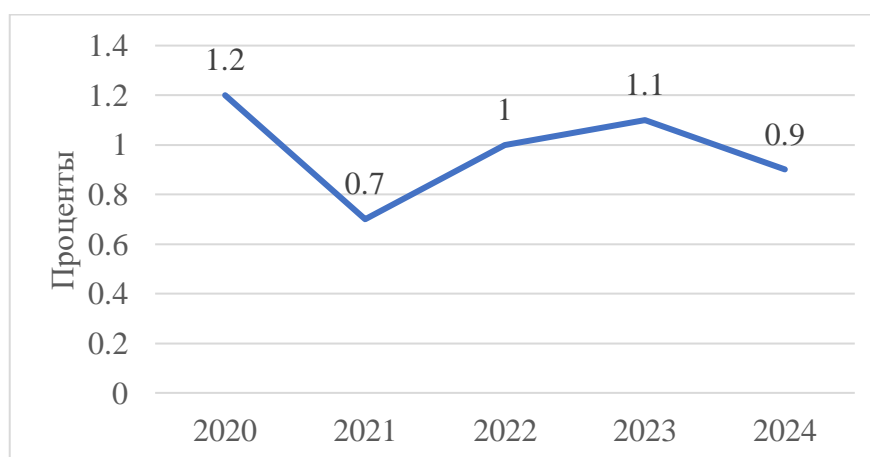


Рисунок 2 - Удельный вес инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг по РФ в организациях транспорта и логистики

Figure 2 - Share of innovative goods, works, and services in the total volume of goods shipped, works performed, and services provided in the Russian Federation by transport and logistics organizations

В последние несколько лет активно развиваются технологии искусственного интеллекта (ИИ). Указом Президента РФ от 10.10.2019 г. № 490 утверждена

национальная стратегия в сфере искусственного интеллекта до 2030 года, которая предусматривает организацию федерального проекта «Искусственный интеллект».

ИИ – это технологические программные решения, позволяющие имитировать когнитивные функции человека в т.ч. без заранее заданного алгоритма и получать результаты сопоставимые с результатами интеллектуальной деятельностью человека или превосходящие их [2].

Процесс внедрения ИИ подразумевает обучение системы. Это значит, что необходим структурированный набор данных. Модель искусственного интеллекта – это программа для ПК, способная находить закономерности в имеющихся данных и на основе этого принимать решения, делать прогнозы.

При дальнейшем использовании ИИ от сотрудников организации не требуется знание технической стороны, но важно понимать, как ИИ приходит к тому или иному результату, т.к. не исключено, что результаты работы ИИ могут быть подвергнуты сомнению. В связи с этим одним из целевых показателей Стратегии РФ в области искусственного интеллекта является увеличение доли сотрудников, имеющих навыки работы с ИИ к 2030 году до 80% [2].

Технологии ИИ широко применяются для обработки звуковых файлов, текстов, технологии принятия решений и прогнозирования. Это различные голосовые помощники, чат-боты, роботы, использующие компьютерное зрение. Согласно исследованию Высшей Школы Экономики технологии ИИ, чаще используются в маркетинге и продажах (52% от общего числа организаций, использующих ИИ), на логистику и транспорт приходится только 15% [3].

Чаще всего организации в своей работе используют аккаунты в социальных сетях. По рис. 3 видно, что в период с 2022 по 2024 годы снизилось число организаций, использующих технологии сбора и обработки больших данных, в то же время увеличилось количество организаций, использующих цифровые платформы и геоинформационные системы (рис. 3) [1].

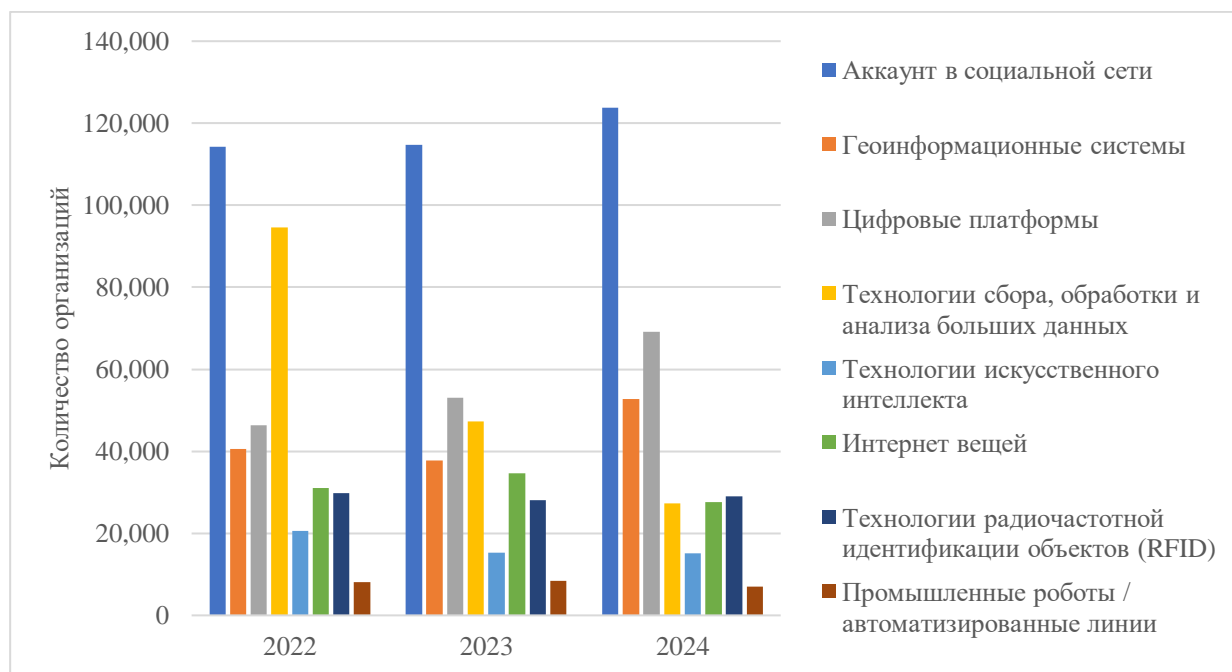


Рисунок 3 - Число организаций, использовавших цифровые технологии в 2022-2024 гг. по видам технологий

Figure 3 - Number of organizations using digital technologies in 2022-2024, by type of technology

Из рис. 3 видно, что меньше всего организаций, использующих промышленных роботов и автоматизированные линии. Среди причин, сдерживающих внедрение роботов в 2024 г., чаще всего назывались отсутствие необходимости и недостаток собственных средств (рис. 4) [1].



Рисунок 4 - Причины неиспользования промышленных роботов в РФ в 2024 году  
Figure 4 - Reasons for the non-use of industrial robots in the Russian Federation in 2024

В то же время 13797 компаний сообщили о том, что они планируют внедрять роботов в своей деятельности в ближайшее время.

Открытая площадка ICT.Moscow, посвященная цифровым технологиям, сообщает о 47 реализованных проектах по внедрению технологий искусственного интеллекта в логистике и транспорте. Среди них проект X5 Group по роботизации распределительных центров с использованием автономных вилочных погрузчиков и мобильных роботов по размещению, перемещению и комплектации заказов в зоне хранения. Аналогично компания «ВкусВилл» внедряет роботов в своих распределительных центрах. При роботизации 30% процентов операций на складе руководство компании рассчитывает сократить издержки на 20-30% и увеличить производительность работ на складе. «Яндекс. Маркет» так же внедряет роботов на своих складах [4].

Яндекс. Такси разрабатывает технологии определения сонных и уставших водителей. Камеры анализируют лицо водителя, количество миганий, зевков и др. и делает вывод о сонливости и рассеянности водителя [4].

Ученый из Томского политехнического университета разработал сервис по мониторингу свободного парковочного пространства и информированию об этом водителей [4].

Мэрия Череповца и компания ЦМИРиТ в 2022 году сообщили об установке 110 датчиков, фиксирующих движение автомобилей по дорогам города, для автоматического управления трафиком на перекрестках [4].

Компания «Аэрофлот» внедряет полностью автоматизированную систему по принятию решений по техобслуживанию авиатранспорта. Каждый самолет передает информацию о своем состоянии наземным службам, и они заблаговременно готовят все необходимое для ремонта, таким образом удается повысить КПД самолетов [4].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что компании в РФ внедряют цифровые технологии для оптимизации своих затрат и бизнес-процессов. В последние несколько лет растет интерес к технологиям искусственного интеллекта, однако возможности использования цифровых технологий еще не исчерпаны и есть возможность для дальнейшего увеличения применения цифровых технологий в логистике. На государственном уровне проводятся ряд мероприятий, направленных на внедрение цифровых инструментов для оптимизации процессов на транспорте и в логистике. Принята Стратегия развития искусственного интеллекта в РФ, направленная на создание условий для взаимодействия государства и организаций в области развития и внедрения ИИ. Это необходимо для того, чтобы российские технологии смогли занять весомую долю мирового рынка ИИ. Появляются реальные кейсы по внедрению технологий ИИ в российских компаниях.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Официальный сайт «Открытая площадка ICT.Moscow» – URL: <https://ict.moscow/projects/ai/cases/?integrationApplications=%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0+%D0%B8+%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82&integrationPlaces=russian&page=5> (дата обращения: 17.10.2025).
2. Об утверждении Национальной стратегии развития искусственного интеллекта на период до 2030 года : указ Президента Российской Федерации от 10.10.2019 г. № 490 // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/44731> (дата обращения: 17.10.2025).
3. Абашкин, В. Л. Применение искусственного интеллекта в российских компаниях / В. Л. Абашкин, Г. Г. Ковалёва. – Москва : ИСИЭЗ НИУ ВШЭ, 2025. – URL: <https://issek.hse.ru/news/1083541394.html> (дата обращения: 17.10.2025).
4. Официальный сайт Росстата – Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/statistics/science> (дата обращения: 17.10.2025).

## REFERENCES

1. The official website of the "Open platform ICT.Moscow". – URL: <https://ict.moscow/projects/ai/cases/?integrationApplications=%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0+%D0%B8+%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82&integrationPlaces=english&page=5> (accessed: 17.10.2025).
2. On the approval of the National Strategy for the Development of Artificial Intelligence for the period up to 2030: Decree of the President of the Russian Federation dated 10.10.2019 No. 490 // Official Internet Portal of Legal Information. – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/44731> (date of request: 10/17/2025).
3. Abashkin, V. L. The use of artificial intelligence in Russian companies / V. L. Abashkin, G. G. Kovaleva. Moscow : ISIEZ HSE, 2025. - URL: <https://issek.hse.ru/news/1083541394.html> (date of request: 17.10.2025).
4. The official website of Rosstat. – Access mode: <https://rosstat.gov.ru/statistics/science> (date of request: 17.10.2025).



## ITS MULTI-LEVEL ARCHITECTURE FOR OPTIMIZING TRANSPORTATION SERVICES FOR MASS EVENTS IN AN URBAN ENVIRONMENT

Hao W.<sup>1</sup>, O. U. Bulatova<sup>2</sup>, A.A. Feofilova<sup>3</sup>  
<sup>1, 2, 3</sup>Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia,  
<sup>1</sup> haowenpeng@mail.ru  
<sup>2</sup> mip.rnd@yandex.ru  
<sup>3</sup> feofilowa@mail.ru

**Abstract.** The increasing complexity of transportation needs during mass events such as sporting events, concerts, and festivals necessitates the development of innovative solutions to manage short-term peak loads, ensure safety, and optimize resource allocation. This article presents the architecture of a localized intelligent transport system (ITS), designed to solve these problems through a multi-level structure integrating layers of perception, communication, data processing and decision-making.

**Keywords:** intelligent transport system, mass city events, ITS architecture, traffic management, traffic safety, transport services

## МНОГОУРОВНЕВАЯ АРХИТЕКТУРА ИТС ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ МАССОВЫХ МЕРОПРИЯТИЙ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ

Хао В.<sup>1</sup>, О.Ю. Булатова<sup>2</sup>, А.А. Феофилова<sup>3</sup>  
<sup>1, 2, 3</sup> Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия,  
<sup>1</sup> haowenpeng@mail.ru  
<sup>2</sup> mip.rnd@yandex.ru  
<sup>3</sup> feofilowa@mail.ru

**Аннотация.** Растущая нагрузка на транспортную систему в период проведения массовых мероприятий требует разработки инновационных решений для управления кратковременными пиковыми нагрузками, обеспечения безопасности и оптимизации распределения ресурсов. Данное исследование представляет собой разработку архитектуры локального проекта интеллектуальной транспортной системы (ИТС), предназначенная для обеспечения эффективности работы транспортной системы в период пиковых нагрузок.

**Ключевые слова.** Интеллектуальная транспортная система, массовые мероприятия, архитектура ИТС, организация дорожного движения, транспортная безопасность, транспортное обслуживание

### Introduction

Intelligent transport systems architecture is integrated platform designed to improve the efficiency, road and environmental safety of transport infrastructure. It is based on the advanced IT solutions, sensors and analytical tools integrated usage. The main objective ITS architecture is to provide drivers, operators and other transport process participants of road environment data in real time. This function allows making transport decisions and effective traffic management.

ITS functioning implemented by using such innovative technologies as artificial intelligence, internet of things, machine learning, digital twins, 5G and low-latency communications, blockchain technologies, etc. ITS architecture is necessary for managing modern transport infrastructure. Among advantages of ITS are: traffic safety, resource integration effectiveness, reduced traffic jams and negative environmental impacts minimization.

ITSA serves as the foundational technical framework driving the modernization of transportation infrastructure. By leveraging digitalization, connectivity, and intelligent automation, it facilitates a shift in transportation systems from reactive to proactive optimization. The advancement of 5G networks, artificial intelligence (AI), and autonomous vehicle technologies further solidifies ITS as a critical enabler of smart city development and sustainable mobility solutions [1-10].

### Methodology

The development of the proposed ITS architecture follows a systematic methodology rooted in systems engineering principles and iterative design processes.

By harnessing Vehicle-to-Everything (V2X) communication, IoT-enabled infrastructure, and AI-driven predictive analytics, these services facilitate:

- Real-time traffic monitoring
- Adaptive control mechanisms
- Proactive traffic flow management

Key services include:

#### 1. ITS service “Integrated decision support and demand management”

This service allows guidance for transport operators obtaining traffic behavior enhance and travel demand management in traffic jam zones.

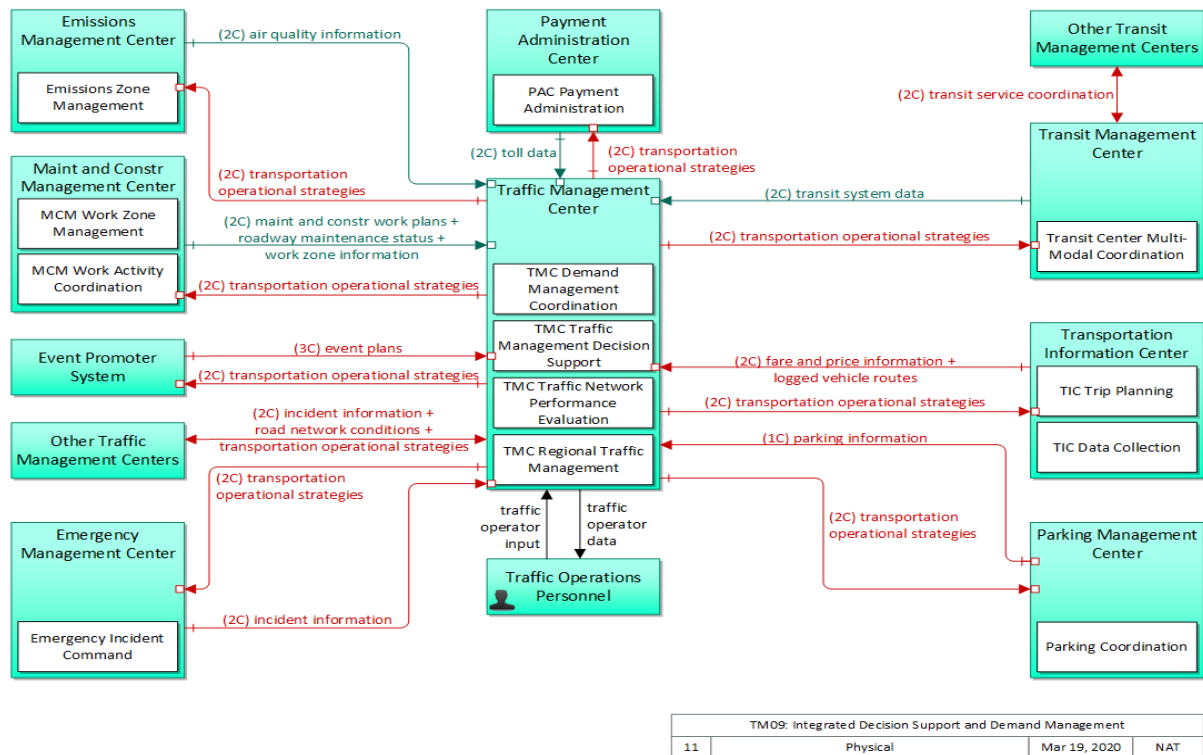


Figure 1 – Developing a physical architecture for ITS service Integrated Decision Support and Demand Management

Рисунок 1 – Разработка физической архитектуры для интегрированной службы поддержки принятия решений и управления запросами

Through traffic states assessment, archival trend analysis and predictive scenario modeling, the platform formulates integrated multimodal approaches that simultaneously address network efficiency objectives and sustainability requirements.

## 2. ITS service «Traffic Surveillance»

This service employs roadside detection devices and surveillance systems to monitor live traffic conditions. The system integrates the next elements:

- Networked sensors and cameras high coverage;
- Robust field-to-center communication links;
- Supporting of dual monitoring functionality both local signal management and centralized control.

Received data allows the functioning of such applications as:

- Live traffic surveillance and incident confirmation
- Equipment performance tracking and malfunction identification
- Traffic flow analysis for operational strategy development
- Data exchange with public travel information platforms

Primary advantages encompass enhanced situational awareness for traffic control personnel and substantial data resources for both immediate operational needs and strategic transportation development. The service facilitates data-informed decision processes while advancing connected infrastructure projects.

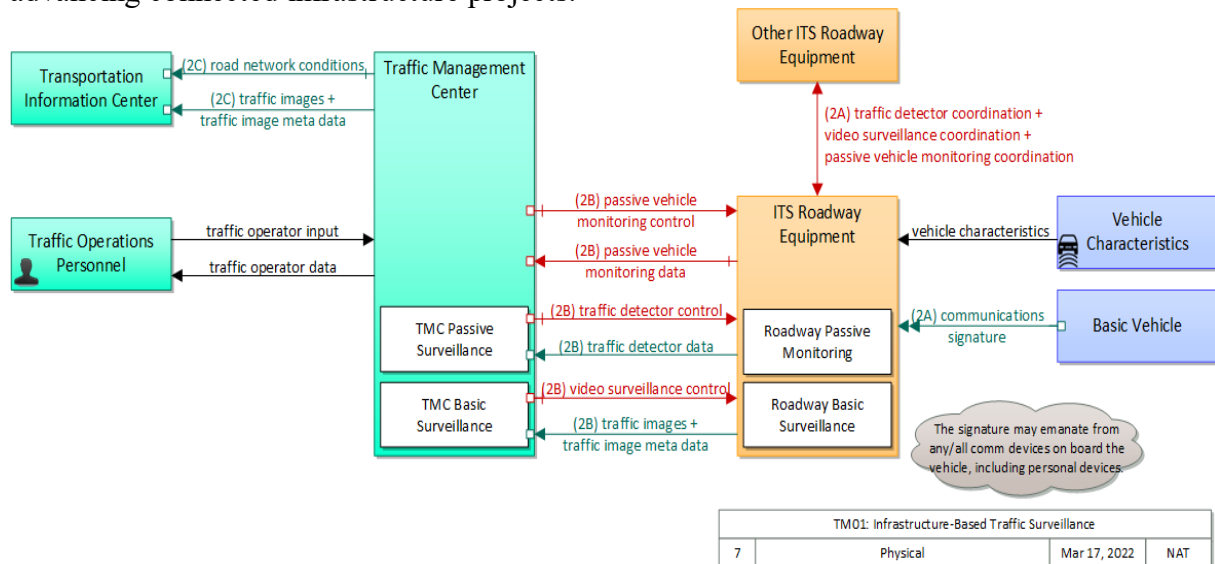


Figure 2 – Developing a physical architecture for «Traffic Surveillance»  
Рисунок 2 – Разработка физической архитектуры для «Наблюдения за дорожным движением»

## 3. ITS service «V2V Basic Safety»

This service facilitates the core safety dialogue between connected vehicles by enabling the exchange of standardized Basic Safety Messages (BSMs). It serves as the foundational communication layer for the safety and automation features outlined in VS01. The package directly enables standardized Connected Vehicle applications—including Emergency Electronic Brake Lights, Forward Collision Warning, and Intersection Movement Assist—as specified in SAE J2945/1. Furthermore, it extends a vehicle's situational awareness by providing critical data about the state and intent of nearby vehicles, supplementing the limitations of onboard sensors.

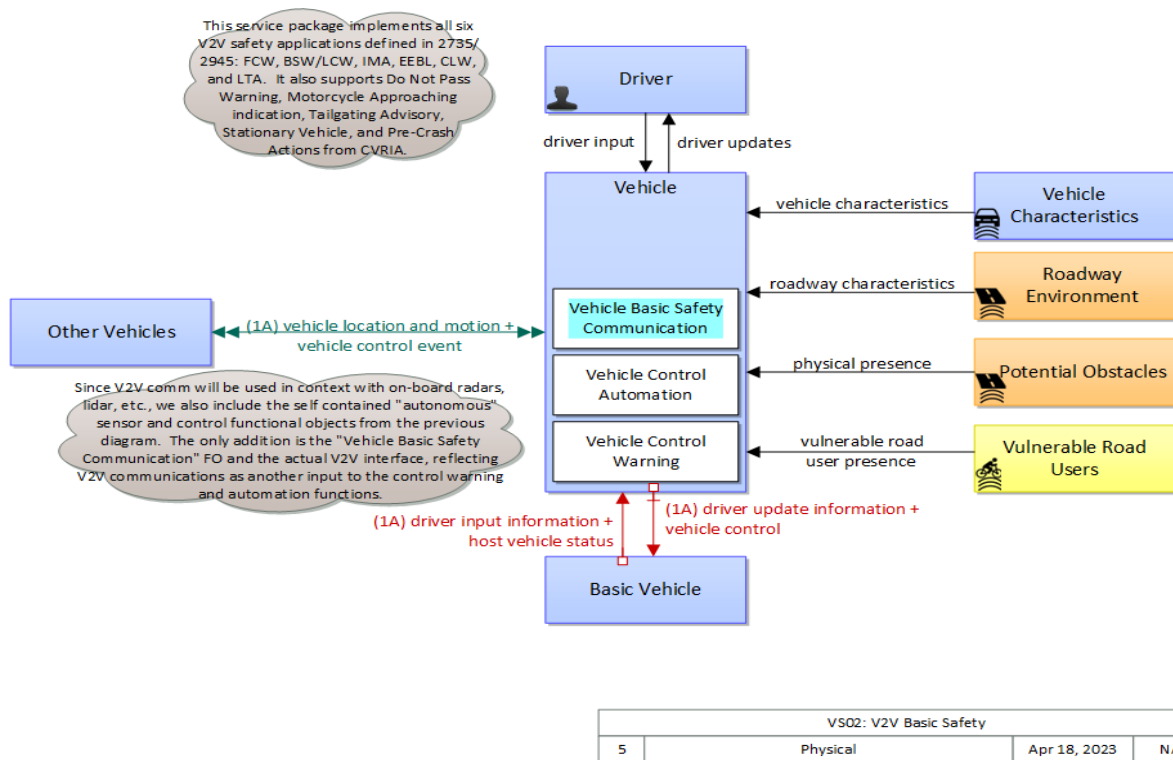


Figure 3 – «V2V Basic Safety» service physical architecture  
Рисунок 3 – Физическая архитектура сервиса «Базовая безопасность V2V»

## Results

The physical architectures for 3 core ITS services presented in this section demonstrate the practical implementation of the proposed framework, translating theoretical models into deployable solutions for mass event transportation. Each architecture is developed through a systematic engineering process that: (1) aligns with ISO 14813-1 and ETSI interoperability standards, (2) integrates field-tested hardware/software components, and (3) optimizes data flows between vehicles, infrastructure, and control centers [9-10].

## Conclusion

Intelligent transportation system architecture presents a paradigm shift in addressing the intricate mobility demands of large-scale events. Through the consolidation of a multi-tiered technological framework – encompassing real-time sensor networks, artificial intelligence for operational decision-making, and unified Vehicle-to-Everything (V2X) communication standards—the implemented structure achieves quantifiable gains in traffic throughput, operational safety, and environmental sustainability.

This version uses synonyms and restructures the sentences to convey the same meaning without replicating the original text.

Adherence to ISO 14813-1 and ETSI TS 102 940 standards ensures seamless collaboration across service modules, enabling rapid deployment of temporary infrastructure while maintaining compatibility with legacy urban systems.

The architecture's modular design supports green mobility initiatives through real-time low-carbon routing and inclusive accessibility features. Testbed results indicate 18% higher public transport utilization during events when combined with AI-optimized signal prioritization.

Future developments should focus on autonomous system integration and quantum-resistant security protocols to address evolving threats. As cities increasingly host mega-events, this research provides a validated blueprint for transitioning from reactive traffic management

to proactive mobility orchestration - a critical capability for achieving SDG 11.2's sustainable urban transport targets. The ITSA model's «develop once, deploy repeatedly» paradigm offers particular value for developing economies building smart city infrastructure.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булатова, О. Ю. Определение основных функций ИТС при организации дорожного движения во время проведения городских массовых мероприятий / О. Ю. Булатова // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – № 3-2(78). – С. 63-68. – DOI 10.33979/2073-7432-2022-2(78)-3-63-68. – EDN COMWZC.
2. Состояние интеллектуальных транспортных систем в субъектах Российской Федерации / Е. С. Ищенко, А. Ю. Артемов, С. В. Дорохин, С. А. Ширяев // Технология транспортных процессов: состояние, проблемы, перспективы : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 13 февраля 2023 года / Отв. редактор В.А. Зеликов. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2023. – С. 43-49. – DOI 10.58168/TTPSP2023\_43-49. – EDN BJSXRO.
3. Анализ вариантов исследования наезда на пешехода или дикое животное, вышедшего под произвольным углом из-за движущегося встречного препятствия / В. А. Зеликов, Г. А. Денисов, А. А. Феофилова [и др.] // Воронежский научно-технический Вестник. – 2024. – Т. 1, № 1(47). – С. 77-88. – DOI 10.34220/2311-8873-2024-77-88. – EDN CNDWJB.
4. Булатова, О. Ю. Принципы функционирования транспортной инфраструктуры в умных городах / О. Ю. Булатова // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – № 3-1(78). – С. 73-78. – DOI 10.33979/2073-7432-2022-1(78)-3-73-78. – EDN LUOATD.
5. Problems of introduction of digital technologies in the transport industry / E. Duganova, I. Novikov, A. Novikov, N. Zagorodnii // Transportation Research Procedia. – 2022. – Vol. 63. – P. 1024-1033. – DOI 10.1016/j.trpro.2022.06.102. – EDN FHABNH.
6. Криволапова, О. Ю. Построение архитектуры интеллектуальных транспортных систем / О. Ю. Криволапова // Молодой ученый. – 2012. – № 12. – С. 80-83. – EDN RFYKML.
7. Шевцова, А. Г. Внедрение интеллектуальной транспортной системы Ramp Metering на примере г. Белгород / А. Г. Шевцова, А. Г. Бурлуцкая, В. В. Васильева // Мир транспорта и технологических машин. – 2018. – № 4(63). – С. 42-48.
8. Systematic Approach in Information Support of the «Road User-Vehicle-Road-External Environment» System / N. V. Podoprighora, A. V. Marusin, P. A. Pegin [et al.] // 2022 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, SOSG 2022 - Conference Proceedings, Moscow, 15–17 марта 2022 года. – Moscow, 2022. – P. 9744276. – DOI 10.1109/IEEECONF53456.2022.9744276. – EDN IJPBRZ.
9. Булатова, О. Ю. Применение элементов интеллектуальных транспортных систем при организации транспортно-логистического обслуживания во время проведения массовых городских мероприятий / О. Ю. Булатова // Дороги и мосты. – 2022. – № 1(47). – С. 294-304. – EDN HCIDVX.
10. Артемов, А. Ю. Управление транспортными потоками УДС городов / А. Ю. Артемов, С. В. Дорохин // Проблемы и перспективы конструктивного совершенствования отечественного автомобилестроения : материалы Всероссийской научно-технической конференции, Воронеж, 12 апреля 2023 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2023. – С. 74-77. – DOI 10.58168/AutIndustry2023\_74-77. – EDN BCOBWD.

## REFERENCES

1. Bulatova, O. Yu. Opredelenie osnovnykh funkciy ITS pri organizacii dorozhnogo dvizheniya vo vremya provedeniya gorodskih massovykh meropriyatij / O. Yu. Bulatova // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. – 2022. – № 3-2(78). – S. 63-68. – DOI 10.33979/2073-7432-2022-2(78)-3-63-68. – EDN COMWZC.
2. Sostoyanie intellektual'nykh transportnykh sistem v sub»ektah Rossijskoj Federacii / E. S. Ishchenko, A. Yu. Artemov, S. V. Dorohin, S. A. Shiryaev // Tekhnologiya transportnykh processov: sostoyanie, problemy, perspektivy : Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Voronezh, 13 fevralya 2023 goda / Otв. redaktor V.A. Zelikov. – Voronezh: Voronezhskij gosudar-

stvennyj lesotekhnicheskij universitet im. G.F. Morozova, 2023. – S. 43-49. – DOI 10.58168/TTPSPP2023\_43-49. – EDN BJSXRO.

3. Analiz variantov issledovaniya naezda na peshekhoda ili dikoe zhivotnoe, vyshedshego pod proizvol'nym uglom iz-za dvizhushchegosya vstrechnogo prepyatstviya / V. A. Zelikov, G. A. Denisov, A. A. Feofilova [i dr.] // Voronezhskij nauchno-tekhnicheskij Vestnik. – 2024. – T. 1, № 1(47). – S. 77-88. – DOI 10.34220/2311-8873-2024-77-88. – EDN CNDWJB.

4. Bulatova, O. Yu. Principy funkcionirovaniya transportnoj infrastruktury v umnyh gorodah / O. Yu. Bulatova // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. – 2022. – № 3-1(78). – S. 73-78. – DOI 10.33979/2073-7432-2022-1(78)-3-73-78. – EDN LUOATD.

5. Problems of introduction of digital technologies in the transport industry / E. Duganova, I. Novikov, A. Novikov, N. Zagorodnii // Transportation Research Procedia. – 2022. – Vol. 63. – P. 1024-1033. – DOI 10.1016/j.trpro.2022.06.102. – EDN FHABHF.

6. Krivolapova, O. Yu. Postroenie arhitektury intellektual'nyh transportnyh sistem / O. Yu. Krivolapova // Molodoj uchenyj. – 2012. – № 12. – S. 80-83. – EDN RFYKML.

7. Shevcova, A. G. Vnedrenie intellektual'noj transportnoj sistemy Ramp Metering na primere g. Belgorod / A. G. Shevcova, A. G. Burluckaya, V. V. Vasil'eva // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. – 2018. – № 4(63). – S. 42-48.

8. Systematic Approach in Information Support of the «Road User-Vehicle-Road-External Environment» System / N. V. Podoprigora, A. V. Marusin, P. A. Pegin [et al.] // 2022 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, SOSG 2022 - Conference Proceedings, Moscow, 15–17 marta 2022 goda. – Moscow, 2022. – P. 9744276. – DOI 10.1109/IEEECONF53456.2022.9744276. – EDN IJPBRZ.

9. Bulatova, O. Yu. Primenenie elementov intellektual'nyh transportnyh sistem pri organizacii transportno-logisticheskogo obsluzhivaniya vo vremya provedeniya massovyh gorodskih meropriyatij / O. Yu. Bulatova // Dorogi i mosty. – 2022. – № 1(47). – S. 294-304. – EDN HCIDVX.

10. Artemov, A. Yu. Upravlenie transportnymi potokami UDS gorodov / A. Yu. Artemov, S. V. Dorohin // Problemy i perspektivy konstruktivnogo sovershenstvovaniya otechestvennogo avtomobilstroeniya : materialy Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii, Voronezh, 12 aprelya 2023 goda. – Voronezh: Voronezhskij gosudarstvennyj lesotekhnicheskij universitet im. G.F. Morozova, 2023. – S. 74-77. – DOI 10.58168/AutIndustry2023\_74-77. – EDN BCOBWD.

## TRANSPORT SYSTEM RESILIENCE IN EMERGENCIES

A.A. Feofilova <sup>1</sup>, L. Hu <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Don state technical university, Rostov on Don, Russia, afeofilova@donstu.ru

<sup>2</sup> Don state technical university, Rostov on Don, Russia, 1534202112@qq.com

**Abstract.** The present paper employs a performance-based framework to analyse transport network resilience, quantifying system response to disruptions. The study employs a structured assessment methodology to evaluate key resilience metrics, including absorption capacity, recovery speed, and adaptive capability. The findings of the study identified critical vulnerabilities in restoration processes despite strong ultimate recovery performance.

**Keywords:** emergency, traffic management; transport system resilience

## УСТОЙЧИВОСТЬ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

А.А. Феофилова <sup>1</sup>, Л. Ху <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия, afeofilova@donstu.ru

<sup>2</sup> Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия, 1534202112@qq.com

Urban transport infrastructures are pivotal components of modern societies, playing a central role in urban functioning, especially when facing increasing threats from various disasters. Their critical role necessitates a robust understanding and evaluation of their resilience, particularly in the context of emergency management. This understanding is crucial for developing effective strategies to mitigate the impacts of natural and man-made disasters on these vital systems [1]. This paper, therefore, aims to identify and summarize existing indicators of transport infrastructure resilience, offering insights into current approaches and potential future studies. Specifically, resilience in this context refers to the capacity of multimodal and integrated transportation systems to prepare for, resist, absorb, adapt to, and recover from disruptions while maintaining or restoring normal service levels [2]. Such resilience is characterized by a system's ability to continuously adapt to achieve operational goals, recovering effectively from disruptive events and shocks to regain its initial state [3]. This comprehensive perspective on resilience, encompassing preparation, absorption, and recovery, aligns with the evolving scholarly focus on urban integrated transportation networks.

Recent studies propose quantitative and probabilistic frameworks for assessing resilience under specific hazards. For instance, in [4] authors developed a probabilistic model to evaluate seismic resilience in emergency medical response systems, focusing on total social losses and restoration time. Similarly, in [5] authors introduced optimization-based methods to measure and maximize evacuation performance in disrupted transport networks.

A broader theoretical perspective is provided in [6]. Authors emphasize the relationship between risk, vulnerability, and resilience in transportation, arguing that resilience is not only the system's robustness but also its adaptability in dynamic environments.

From a transport systems science perspective, resilience research has evolved towards a more integrated and multidimensional understanding of how networks respond to and recover from disruption. Scholars advocate incorporating resilience principles throughout the disaster management process, from pre-event mitigation and preparedness to post-event recovery and adaptation. This perspective highlights that resilience is not a static property, but rather a dynamic system behaviour influenced by design, policy and operational flexibility.

Building on this foundation in [7] a network-based resilience assessment framework for highway systems is introduced, emphasising the identification of critical nodes and links that sustain safety and functionality during emergencies. Similarly in [8] a simulation-based resilience evaluation to urban bus networks is applied, providing quantitative insights into network redundancy, recovery trajectories and service continuity under disruptive scenarios.

A common method used to visualize and quantify how a transport system (or any critical infrastructure system) responds to and recovers from disruptions over time is the conceptual resilience curve framework (fig.1). Figure 1 presents a conceptual depiction of the methodology framework, designed to more precisely quantify resilience across various system phases. The vertical axis represents the system performance level  $P$ , whilst the horizontal axis denotes time. The plotted curve—commonly termed the resilience curve—illustrates the evolution of system performance over time following a disturbance. At time point  $t_d$ , the system encounters an external shock leading to a decline in performance, which begins to recover at time point  $t_r$ . The system continues to improve until it reaches a new equilibrium state at time point  $t_{ns}$ . Based on these key temporal markers, the system's evolution can be divided into four distinct phases.

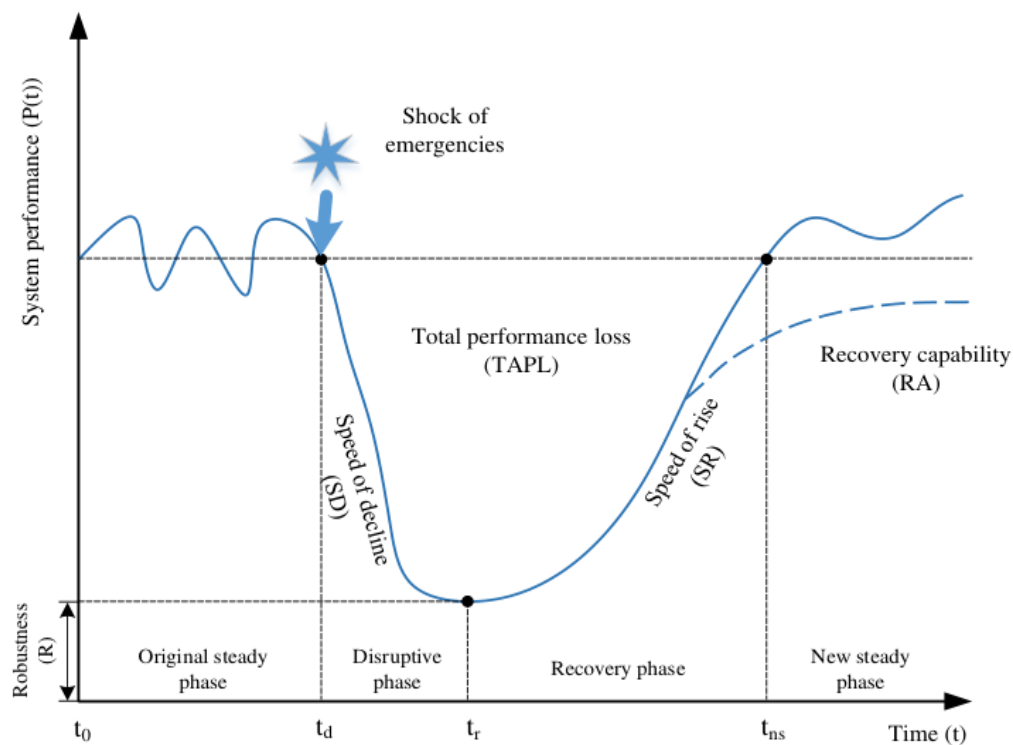


Figure 1 – Depiction of system resilience phases [7]

Рисунок 1 – Описание этапов повышения устойчивости системы [7]

Detailed breakdown of the **four stages** based on the time points  $t_d$ ,  $t_r$ , and  $t_{ns}$  is:

1) the **first stage**, known as the *initial stability stage* ( $t < t_d$ ), represents the period before the system experiences any disturbance. During this phase, the system operates under normal conditions, and its performance level is typically considered the **target or reference value**. The **average performance** during this stage can thus be used as the baseline for comparison.



2) the **second stage**, or *disturbance stage* ( $t_d < t < t_r$ ), begins once the system is subjected to an external shock. During this period, the system absorbs the disturbance, leading to a decline in performance until it reaches its minimum level. The system's **robustness (R)** characterizes its **ability to withstand and absorb** the adverse impacts of the disturbance.

3) the third stage, designated the *recovery stage* ( $t_r < t < t_{ns}$ ), signifies the period during which the system's performance is known to improve following a disturbance. During this phase, the system adapts and restores its functionality, progressively moving towards stability. The system's adaptive and recovery capabilities can be measured by evaluating the rate of recovery. (**SR**)—indicating how rapidly performance is restored—and the **performance loss recovery proportion (PLRP)**, which measures the extent of regained performance relative to the loss incurred.

4) the **fourth stage**, or *new stable stage* ( $t > t_{ns}$ ), occurs once the system's performance has reached a new equilibrium level, and that this level is being maintained. This new stable state may be equal to, higher than, or lower than the original stable level, depending on whether the system fully recovers, improves through adaptation, or experiences a lasting performance degradation.

Table 1 – Key measures for determining transport system's resilience [9]

Таблица 1 – Ключевые показатели для определения устойчивости транспортной системы [9]

Indicator's Symbol	Description	Formula
R	Minimum system performance during disruption	$R = \min\{P(t)\}, (t_d < t < t_r)$
SD	Speed of Decline	$SD = \frac{1}{2} \left[ \frac{P(t_d) - P(a)}{a - t_d} + \frac{P(a) - P(t_r)}{t_r - a} \right]$
SR	Speed of Recovery	$SR = \frac{1}{2} \left[ \frac{P(t_{ns}) - P(b)}{t_{ns} - b} + \frac{P(b) - P(t_r)}{b - t_r} \right]$
RA	Recovery Ability	$RA = \frac{P(t_{ns}) - P(t_r)}{P(t_0) - P(t_r)}$
TI	Time of Incident Impact	$TI = t_{ns} - t_d$
TPL	Total performance loss	$TPL = \int_{t_d}^{t_{ns}} P(t_0) - P(t) dt$
TAPL	Average performance loss	$TAPL = \frac{TPL}{TI}$
GR	Resilience Index	$GR = \frac{R * SR}{SD} * TAPL^{-1} * RA$

The following are examples of Resilience calculations for the scenario: A major accident involving damage to the road surface and temporary traffic restrictions occurred on a section of a four-lane motorway. The total impact period lasted approximately 48 hours, encompassing the initial emergency response, the clean-up operations, and the partial restoration of traffic flow. Subsequent to this, a period of normalisation lasting between one and two days was necessary for traffic patterns and driver behaviour to stabilise and return to normal parameters. The initial data and results of calculations using the formulas from table 1 are given in tables 2 and 3, respectively.

Table 2 – Initial data

Таблица 2 – Исходные данные

Time (hours)	Stage	System Performance $P(t)$ , [%]	Description
0	Normal operation	100	Normal traffic conditions before the incident
2	Disturbance onset ( $t_d$ )	80	Start of capacity reduction due to traffic accident
6	Minimum performance ( $t_r$ )	35	Peak congestion and network disruption
18	Recovery phase	70	Partial reopening of lanes and temporary repairs
30	New steady state ( $t_{ns}$ )	97	Traffic conditions stabilized to near-normal level

Table 3 – Results

Таблица 3 – Результаты

Indicator	Formula	Result	Units / Meaning	Interpretation
R	$R = \min P(t)$	35	%	Minimum performance level during disturbance
SD	$(80-35)/(6-2)$	11.25	%, per hour	Rate of degradation following the incident
SR	$(97-35)/(30-6)$	2.58	%, per hour	Rate of recovery after minimum performance
RA	$(97-35)/(100-35)$	0.95	–	System restored 95% of its lost capacity
TI	$(30-2)$	28	Hours	Duration of the impact
TPL	trapezoidal integration	978	%, ·h	Cumulative loss of performance
TAPL	$(978/28)$	34.9	%,	Average performance loss during disturbance
GR	$(R \times SR / SD) \times (1 / TAPL) \times RA$	0.22	Dimensionless	Comprehensive resilience index

The resilience analysis of the transport system reveals a system with strong final recovery, but with critical speed issues. While it ultimately recovers 95% of lost performance ( $RA = 0.95$ ), the initial collapse is severe ( $R = 35\%$ ) and rapid ( $SD = 11.25\%/h$ ). The main weakness is the slow recovery rate ( $SR = 2.58\%/h$ ), which is less than a quarter of the degradation speed. This results in prolonged impairment ( $TI = 28$  hours) and substantial cumulative performance loss ( $TAPL = 32\%$ ).

The low comprehensive resilience index ( $GR = 0.24$ ) primarily reflects this recovery speed deficit. Rather than improving the already adequate final recovery level further, resilience enhancement should prioritise accelerating the restoration process through better response protocols and redundant systems to reduce recovery time and the overall impact.

## REFERENCES

1. Ahmed S, Dey K. Resilience modeling concepts in transportation systems: a comprehensive review based on mode, and modeling techniques. J Infrastruct Preserv Resil. 2020;1:8.

<https://doi.org/10.1186/s43065-020-00008-9>

2. Yang H, Huang H, Li G, Han B, Yuan Z, Ma H. A systematic review of resilience assessment and enhancement of urban integrated transportation networks. *J Transp Geogr.* 2025;129:104420. doi:10.1016/j.jtrangeo.2025.104420.

3. Papadopoulos F, Xenou E, Angelidou M, et al. A review of resilience management application tools in the transport sector. *Transportation Research Procedia.* 2017;24:235-240. doi:10.1016/j.trpro.2017.05.113

4. Zhou Y, Wang J, Zhou J. Probabilistic framework for evaluating the seismic resilience of transportation systems during emergency medical response. *Reliab Eng Syst Saf.* 2023;236:109255. doi:10.1016/j.ress.2023.109255.

5. Wan C, Yang Z, Zhang D, Yan X, Fan S. Resilience in transportation systems: a systematic review and future directions. *Transport Reviews.* 2018;38(4):479-498. doi:10.1080/01441647.2017.1383532

6. Zhou Y, Wang J, Yang H. Resilience of transportation systems: concepts and comprehensive review. *IEEE Trans Intell Transp Syst.* 2019;20(12):4262-4276. doi:10.1109/TITS.2018.2883766

7. Zhang X, Lu Y, Wang J, Qi Y. Enhancing highway transportation safety resilience during emergencies: a network-based analysis and assessment. *PLoS One.* 2024;19(7):e0307233. doi:10.1371/journal.pone.0307233.

8. Huang L, Huang H, Wang Y. Resilience Analysis of Traffic Network under Emergencies: A Case Study of Bus Transit Network. *Applied Sciences.* 2023; 13(15):8835. <https://doi.org/10.3390/app13158835>

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ahmed S, Dey K. Resilience modeling concepts in transportation systems: a comprehensive review based on mode, and modeling techniques. *J Infrastruct Preserv Resil.* 2020;1:8. <https://doi.org/10.1186/s43065-020-00008-9>

2. Yang H, Huang H, Li G, Han B, Yuan Z, Ma H. A systematic review of resilience assessment and enhancement of urban integrated transportation networks. *J Transp Geogr.* 2025;129:104420. doi:10.1016/j.jtrangeo.2025.104420.

3. Papadopoulos F, Xenou E, Angelidou M, et al. A review of resilience management application tools in the transport sector. *Transportation Research Procedia.* 2017;24:235-240. doi:10.1016/j.trpro.2017.05.113

4. Zhou Y, Wang J, Zhou J. Probabilistic framework for evaluating the seismic resilience of transportation systems during emergency medical response. *Reliab Eng Syst Saf.* 2023;236:109255. doi:10.1016/j.ress.2023.109255.

5. Wan C, Yang Z, Zhang D, Yan X, Fan S. Resilience in transportation systems: a systematic review and future directions. *Transport Reviews.* 2018;38(4):479-498. doi:10.1080/01441647.2017.1383532

6. Zhou Y, Wang J, Yang H. Resilience of transportation systems: concepts and comprehensive review. *IEEE Trans Intell Transp Syst.* 2019;20(12):4262-4276. doi:10.1109/TITS.2018.2883766

7. Zhang X, Lu Y, Wang J, Qi Y. Enhancing highway transportation safety resilience during emergencies: a network-based analysis and assessment. *PLoS One.* 2024;19(7):e0307233. doi:10.1371/journal.pone.0307233.

8. Huang L, Huang H, Wang Y. Resilience Analysis of Traffic Network under Emergencies: A Case Study of Bus Transit Network. *Applied Sciences.* 2023; 13(15):8835. <https://doi.org/10.3390/app13158835>

## DEVELOPMENT OF A LOCAL ITS PROJECT ARCHITECTURE FOR SOLVING RURAL AREAS TRANSPORT ACCESSIBILITY

Yu X.<sup>1</sup>, O. U. Bulatova<sup>2</sup>, A.A. Feofilova

<sup>1</sup> Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia, e-mail: yu.xiaotong@mail.ru

<sup>2</sup> Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia, e-mail: mip.rnd@yandex.ru

<sup>3</sup> Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia, e-mail: feofilowa@mail.ru

**Abstract.** Intelligent Transport Systems Architecture (ITSA) is a main architecture for intelligent transport systems, where the system architecture provides the most complete picture of what an ITS implementation will look like from a design perspective. It may also provide users with the easiest and most common knowledge about ITS and its prospect in traffic management development. This research explores the adaptation of ITSA principles for rural areas by aligning with established ITS frameworks while introducing rural-specific modifications.

**Keywords:** Intelligent Transport Systems Architecture, Transport accessibility, Intelligent Transport Systems, ITS service, Traffic Management

## РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ ЛОКАЛЬНОГО ПРОЕКТА ИТС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ТРАНСПОРТНОЙ ДОСТУПНОСТИ СЕЛЬСКИХ РАЙОНОВ

Юй С.<sup>1</sup>, О.Ю. Булатова<sup>2</sup>, А.А. Феофилова<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия,  
e-mail: yu.xiaotong@mail.ru

<sup>2</sup> Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия,  
e-mail: mip.rnd@yandex.ru

<sup>3</sup> Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия,  
e-mail: feofilowa@mail.ru

**Аннотация.** Архитектура интеллектуальных транспортных систем дает наиболее полное представление о том, как будет выглядеть реализация системы с точки зрения проектирования. В данном исследовании рассматривается архитектура ИТС с учетом специфики транспортного обслуживания сельских районов.

**Ключевые слова.** Интеллектуальные транспортные системы, транспортная доступность, архитектура интеллектуальных транспортных систем, сервисы ИТС, организация дорожного движения

Ensuring transport accessibility in rural areas is one of the key socio-economic challenges nowadays. Despite the active development of Intelligent Transport Systems (ITS), most architectural solutions are focused on urban conditions and don't take into account the rural areas specifics, such as low population density, limited infrastructure and economic feasibility. In this regard, there is a need to develop a specialized local ITS architecture adapted to the unique needs and constraints of rural areas [1-8].

Such services as Traffic Metering, Regional Traffic Management and ITS Communications were identified and elaborated in detail. Let's look at their purpose and architectural implementation, demonstrating how each of them contributes to the goal of increasing transport system mobility and efficiency.

## 1. ITS service Traffic Metering

This service should provide accurate traffic metering. It ought to utilize advanced sensors and algorithms to precisely measure traffic flow rates, vehicle densities and speeds across different road segments. By traffic conditions monitoring in real - time, the service can detect congestion hotspots promptly and adjust traffic signals, ramp metering rates, or provide dynamic route guidance to manage the traffic flow effectively. It should also generate detailed traffic reports and analytics, helping transportation authorities and planners understand traffic patterns over time, optimize infrastructure functioning and make informed decisions to enhance overall traffic efficiency and reduce travel delays within the ITS framework.

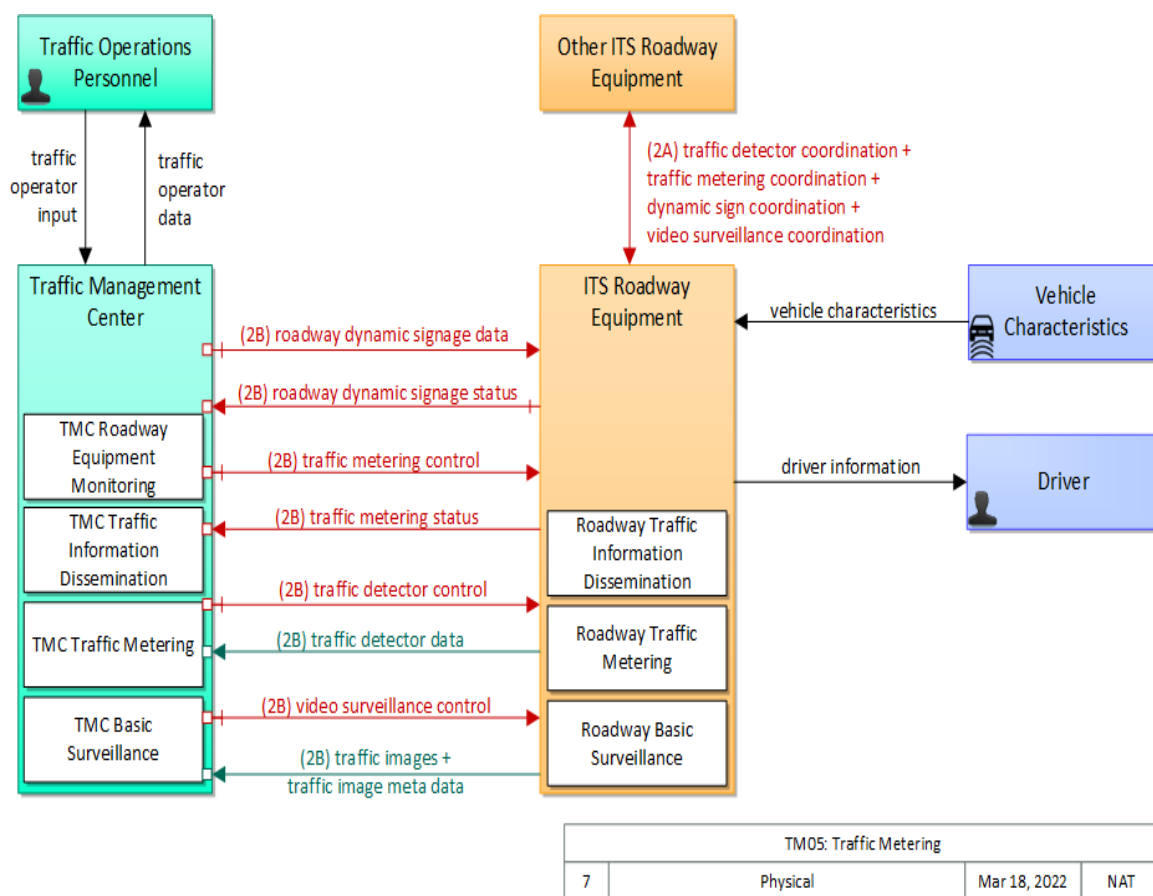
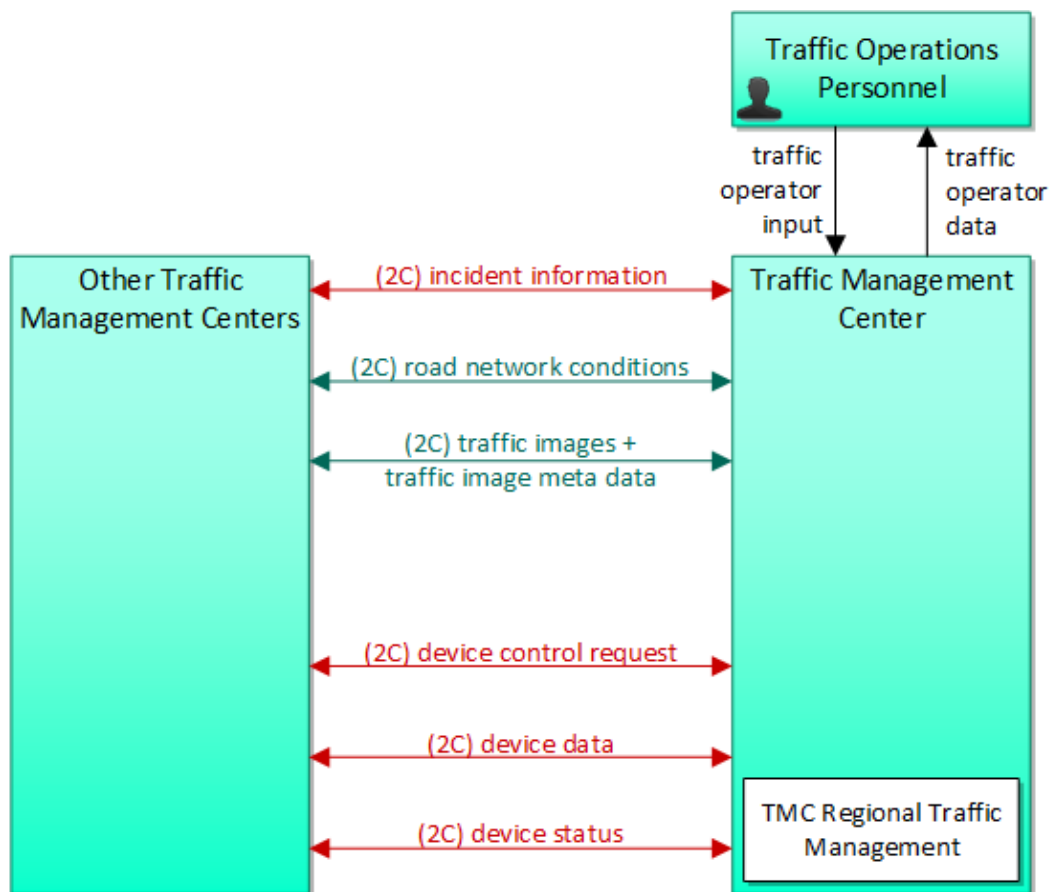


Figure 1- Physical architecture for ITS service Traffic Metering

Рисунок 1 - Физическая архитектура для учета служебного трафика ITS

## 2. ITS service Regional Traffic Management

This service is necessary to ensure comprehensive traffic management in the region, including rural areas. Its functions include integrating data from a wide range of sources, including road sensors, cameras, and GPS-enabled vehicles, to gain a holistic view of the road conditions in the region. By analyzing real-time traffic data, the service allows you to predict congestion, accidents, and other disruptions, which allows you to use proactive management strategies such as dynamically setting the time for traffic lights at multiple intersections, coordinating public transport schedules in addition to traffic flow, and sending drivers targeted warnings and suggestions. by changing the route. In addition, this service facilitates communication and cooperation between various traffic management authorities, providing a unified approach to solving regional traffic problems and optimizing the transportation process for all road users.



TM07: Regional Traffic Management			
5	Physical	Mar 5, 2020	NAT

Figure 2-Physical architecture for ITS service Regional Traffic Management  
Рисунок 2 – Физическая архитектура для управления региональным трафиком службы ITS

### 3. ITS service ITS Communications

The function of this service is to ensure uninterrupted data exchange between various components of the transport infrastructure, allowing vehicles, road sensors, traffic control centers and mobile devices to interact effectively. High-speed, low-latency communication channels are essential for real-time information exchange. In addition, this service must support multiple communication protocols for working with various devices and systems, and include reliable security measures to protect confidential data during transmission, ensuring the integrity and confidentiality of ITS operations.

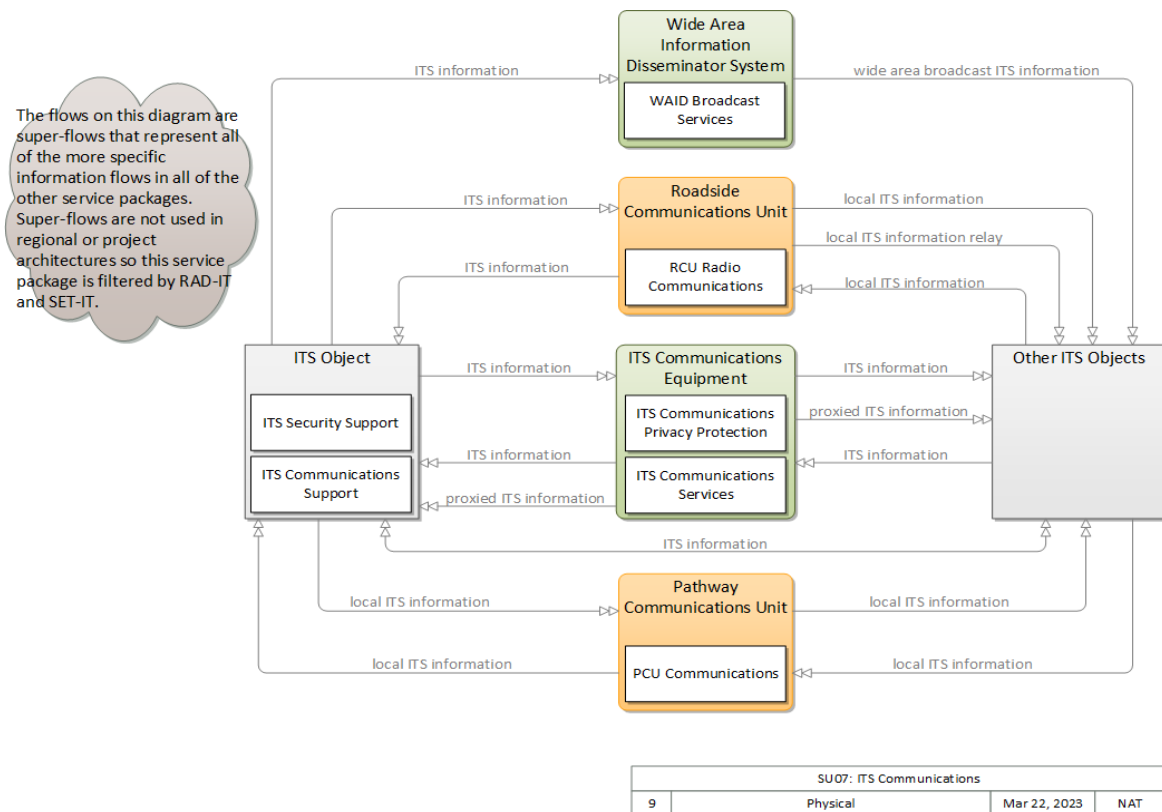


Figure 3 – Physical architecture for ITS service ITS Communications  
Рисунок 3 – Физическая архитектура для обслуживания СВОИХ коммуникаций

In conclusion, it should be stated that the development of the architecture of a local project of an intelligent transport system for rural areas is a complex, strategically important task. The presented description of ITS services is characterized by completeness and depth, revealing the variety of their functional content and significance. Services such as bus location tracking, dynamic management of their operation, and prioritization of travel through traffic lights contribute to improving the efficiency and reliability of public transport. Coordination of different types of transportation and guarantees of non-stop routes improve the overall passenger experience of the trip and increase the attractiveness of public transport.

The functions of monitoring and managing Vehicle Internet (IoV) systems, data distribution, location and time determination, and ITS communications form the technical basis for the smooth functioning of the entire ecosystem, ensuring data security, accurate positioning, and effective communication. Traffic accounting and regional traffic management play a key role in optimizing traffic flows at the local and regional levels, while micro-forecasting the traffic situation provides valuable information for active traffic management and increased safety.

Thus, the proposed architecture of the local ITS project has significant potential for transforming the transport situation in rural areas. The introduction of advanced technologies and innovative service models makes it possible to increase the mobility of the population, improve access to basic services and stimulate the economic development of rural areas. However, the successful implementation of the project requires close cooperation between all stakeholders, including local governments, transport agencies, technology providers and the public. Promising areas of research and development should focus on adapting the proposed architectural solutions to the specific needs of various rural communities, addressing issues of economic efficiency and ensuring long-term sustainability. The implementation of these

measures will contribute to the creation of a more intelligent, efficient and inclusive transport system for rural areas.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булатова, О. Ю. Принципы функционирования транспортной инфраструктуры в умных городах / О. Ю. Булатова // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – № 3-1(78). – С. 73-78. – DOI 10.33979/2073-7432-2022-1(78)-3-73-78. – EDN LUOATD.
2. Состояние интеллектуальных транспортных систем в субъектах Российской Федерации / Е. С. Ищенко, А. Ю. Артемов, С. В. Дорохин, С. А. Ширяев // Технология транспортных процессов: состояние, проблемы, перспективы : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 13 февраля 2023 года / Отв. редактор В.А. Зеликов. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2023. – С. 43-49. – DOI 10.58168/TTPSPP2023\_43-49. – EDN BJSXRO.
3. Шевцова, А. Г. Внедрение интеллектуальной транспортной системы Ramp Metering на примере г. Белгород / А. Г. Шевцова, А. Г. Бурлуцкая, В. В. Васильева // Мир транспорта и технологических машин. – 2018. – № 4(63). – С. 42-48.
4. Криволапова, О. Ю. Построение архитектуры интеллектуальных транспортных систем / О. Ю. Криволапова // Молодой ученый. – 2012. – № 12. – С. 80-83. – EDN RFYKML.
5. Аналитика первичных данных дорожно-транспортных происшествий как инструмент повышения эффективности функционирования транспортно-логистических систем / К. А. Бычкова, А. В. Подкопаев, О. Ю. Булатова, Ю. Н. Линник // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 4-3(87). – С. 104-111. – DOI 10.33979/2073-7432-2024-4-3(87)-104-111. – EDN DCTDBL.
6. Криволапова, О. Ю. Подход к оценке эффективности объектов совершенствования транспортной сети / О. Ю. Криволапова // Научное обозрение. – 2014. – № 11-2. – С. 606-608. – EDN TUGDGF.
7. Артемов, А. Ю. Управление транспортными потоками УДС городов / А. Ю. Артемов, С. В. Дорохин // Проблемы и перспективы конструктивного совершенствования отечественного автомобилестроения : материалы Всероссийской научно-технической конференции, Воронеж, 12 апреля 2023 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2023. – С. 74-77. – DOI 10.58168/AutIndustry2023\_74-77. – EDN BCOBWD.
8. Problems of introduction of digital technologies in the transport industry / E. Duganova, I. Novikov, A. Novikov, N. Zagorodnii // Transportation Research Procedia. – 2022. – Vol. 63. – P. 1024-1033. – DOI 10.1016/j.trpro.2022.06.102. – EDN FHABHF.

## REFERENCES

1. Bulatova, O. Yu. Principy funkcionirovaniya transportnoj infrastruktury v umnyh go-rodah / O. Yu. Bulatova // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. – 2022. – № 3-1(78). – S. 73-78. – DOI 10.33979/2073-7432-2022-1(78)-3-73-78. – EDN LUOATD.
2. Sostoyanie intellektual'nykh transportnykh sistem v sub»ektakh Rossijskoj Federacii / E. S. Ishchenko, A. Yu. Artemov, S. V. Dorohin, S. A. Shiryayev // Tekhnologiya transportnykh processov: sostoyanie, problemy, perspektivy : Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Voronezh, 13 fevralya 2023 goda / Otв. redaktor V.A. Zelikov. – Voronezh: Voronezhskij gosudarstvennyj lesotekhnicheskij universitet im. G.F. Morozova, 2023. – S. 43-49. – DOI 10.58168/TTPSPP2023\_43-49. – EDN BJSXRO.
3. Shevcova, A. G. Vnedrenie intellektual'noj transportnoj sistemy Ramp Metering na primere g. Belgorod / A. G. Shevcova, A. G. Burluckaya, V. V. Vasil'eva // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. – 2018. – № 4(63). – S. 42-48.
4. Krivolapova, O. Yu. Postroenie arhitektury intellektual'nykh transportnykh sistem / O. Yu. Krivolapova // Molodoj uchenyj. – 2012. – № 12. – S. 80-83. – EDN RFYKML.
5. Analitika pervichnykh dannykh dorozhno-transportnykh proisshestvij kak instrument po-



vysheniya effektivnosti funkcionirovaniya transportno-logisticheskikh sistem / K. A. Bychkova, A. V. Podkopaev, O. Yu. Bulatova, Yu. N. Linnik // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. – 2024. – № 4-3(87). – S. 104-111. – DOI 10.33979/2073-7432-2024-4-3(87)-104-111. – EDN DCTDBL.

6. Krivolapova, O. Yu. Podhod k ocenke effektivnosti ob»ektov sovershenstvovaniya transportnoj seti / O. Yu. Krivolapova // Nauchnoe obozrenie. – 2014. – № 11-2. – S. 606-608. – EDN TUGDGF.

7. Artemov, A. Yu. Upravlenie transportnymi potokami UDS gorodov / A. Yu. Artemov, S. V. Dorohin // Problemy i perspektivy konstruktivnogo sovershenstvovaniya otechestvennogo avtomobilestroeniya : materialy Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii, Voronezh, 12 aprelya 2023 goda. – Voronezh: Voronezhskij gosudarstvennyj lesotekhnicheskij universitet im. G.F. Morozova, 2023. – S. 74-77. – DOI 10.58168/AutIndustry2023\_74-77. – EDN BCOBWD.

8. Problems of introduction of digital technologies in the transport industry / E. Duganova, I. Novikov, A. Novikov, N. Zagorodnii // Transportation Research Procedia. – 2022. – Vol. 63. – P. 1024-1033. – DOI 10.1016/j.trpro.2022.06.102. – EDN FHABHF.

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕДЛОЖЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЦЕНТРА МОНИТОРИНГА СИЛ И СРЕДСТВ

С. А. Бабкин<sup>1</sup>, А. В. Кочегаров<sup>2</sup>, А. А. Карбина<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Воронежский институт повышения квалификации сотрудников ГПС МЧС России, г. Воронеж,  
Россия

<sup>2,3</sup> Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия

<sup>1</sup> babkins@mail.ru

<sup>2</sup> kochiegharov77@mail.ru

<sup>3</sup> lika.karebina@bk.ru

**Аннотация.** Статья посвящена внедрению системы мониторинга «Приток-МПО» для транспорта пожарной части. Предложены решения по развёртыванию центра мониторинга и оснащению автомобилей бортовыми комплектами с ГЛОНАСС\GPS. Выбор системы обоснован методом экспертных оценок. Разработанный проект обеспечивает надежный контроль над подвижными объектами с резервированием каналов связи.

**Ключевые слова:** «Приток-МПО», мониторинг транспорта, ГЛОНАСС\GPS, создание центра мониторинга, оборудование транспортных средств, экспертная оценка эффективности.

## ASSESSMENT THE FEASIBILITY OF USING THE PROPOSED EQUIPMENT AND MONITORING FOR CENTER FOR FORCES AND ASSETS

S. A. Babkin<sup>1</sup>, A. Viktorovich Kochegarov<sup>2</sup>, Azhelika Andreevna Karebina<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Voronezh Institute for Advanced Training of Employees of the State Fire Service of the EMERCOM  
of Russia, Voronezh, Russia<sup>1</sup>,

<sup>2,3</sup> Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

<sup>1</sup> babkins@mail.ru

<sup>2</sup> kochiegharov77@mail.ru

<sup>3</sup> lika.karebina@bk.ru

**Abstract.** The article is devoted to the implementation of the «Pritok-MPO» monitoring system for fire department vehicles. Solutions are proposed for deploying a monitoring center and equipping vehicles with onboard kits featuring GLONASS/GPS. The system selection is justified using the method of expert evaluations. The developed project ensures reliable control over mobile objects with communication channel redundancy.

**Keywords:** «Pritok-MPO», vehicle monitoring, GLONASS/GPS, monitoring center setup, vehicle equipment, expert performance evaluation.

Рассмотрим возможность применения системы позиционирования «Приток-МПО», которую мы выбрали методом экспертных оценок.

Для этого проанализируем технические требования к размещению системы данного вида:

Программное обеспечение АРМ Приток-МПО, предназначенное для обеспечения работы личного состава центра мониторинга с информацией системы мониторинга Приток-МПО, в том числе и с архивными данными. ПО необходимо установить на

компьютер (сервер центра мониторинга Приток-МПО) с операционной системой семейства Windows. С техническими характеристиками: процессор 1,7-2,5 ГГц, оперативная память не менее 2 ГБ, жесткий диск не менее 250 ГБ, сетевой адаптер и источник бесперебойного питания

Программное обеспечение может использоваться совместно в составе интегрированной системы Приток-А на пульте централизованного наблюдения подразделения вневедомственной позиционирования.

Размещение на транспортном средстве базовый модуля Приток-А-Р-БМ -01 или Приток-А-Р-БМ -02, который осуществляет мониторинг объектов по УКВ-радиоканалу и реализует: прием информации с БК и передачу команд управления на БК по УКВ-радиоканалу; связь с рабочими станциями системы через каналы, по протоколу ТСР/IP. Либо базового модуля Приток-А-БМ -03(GSM), осуществляет мониторинг подвижных объектов по каналам сотовой связи и обеспечивает: связь с рабочими станциями системы через каналы, по протоколу ТСР/IP; поддержку работы с бортовыми комплектами и персональными трекерами в режимах GPRS, SMS и дозвона.

Помимо сказанного выше «Приток-МПО» имеет сертификат соответствия МЧС № МЧС.RU.0001.H00506 и поэтому может быть применен для достижения поставленных целей.

Учитывая сказанное выше необходимо оборудовать центр мониторинга и транспортные средства ПЧ. (Рисунок – 1)

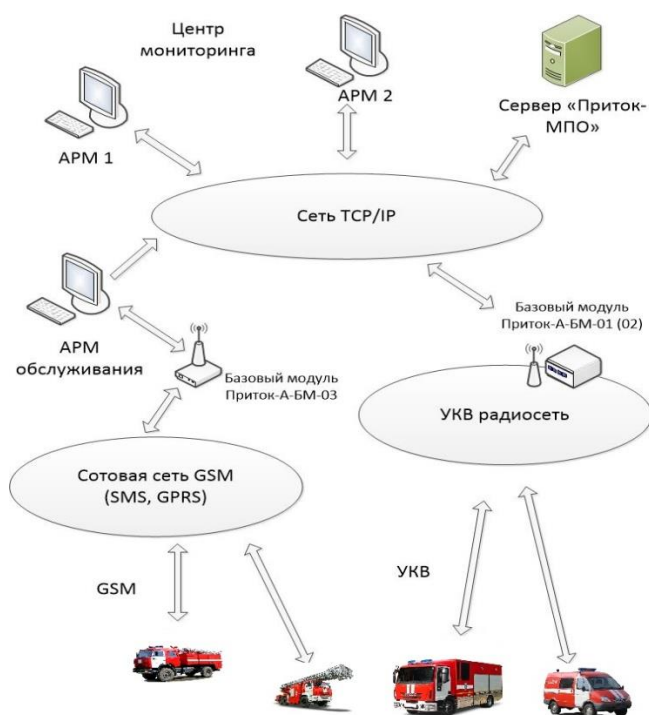


Рисунок 1– Предлагаемая структурная схема центра мониторинга

Figure 1 – Proposed Monitoring Center Structure Diagram

Для обеспечения позиционирования и мониторинга автомобильных транспортных средств ПЧ, основываясь на информации, приведенной в предыдущих главах, осуществим разработку предложений по созданию структуры системы позиционирования и оборудованию диспетчерского центра и центра мониторинга ПЧ, представленные на рисунке 2.

Основные предложения по организации центра мониторинга:

1. Центр мониторинга необходимо развернуть на базе дежурной части.

2. Для размещения серверной части программного обеспечения использовать выделенный сервер с характеристиками, обеспечивающими полноценную работу данного специализированного программного обеспечения.

3. Организовать как минимум два автоматизированных рабочих места с клиентской частью программного обеспечения «Приток-МПО», находящихся в одной локальной сети с сервером.

4. Для приема [21] от объектов мониторинга использовать базовые модули: для GSM канала Приток-А-БМ-03, для УКВ канала Приток-А-01 (02). Базовые модуль должны быть подключены к локальной вычислительной сети по протоколу ТСР/ІР.

5. Организовать автоматизированное рабочее место для обслуживания системы позиционирования.

6. Обеспечить электропитание устройств системы, в том числе и резервное, с резервом минимум на 2 часа автономной работы.

7. Организовать возможность применения WEB интерфейса для работы с системой:

Основным назначением программы «Приток-МПО-WEB» является мониторинг подвижных объектов в реальном времени с использованием WEB-интерфейса. Основные функции «Приток-МПО-WEB»:

- контроль местоположения и технического состояния транспортных средств, оснащенных бортовыми комплексами (Приток--А--БК--01, Приток--А--БК--011, Приток--А--БК--02, Приток--А--БК--021, Приток--А--БК--03, Приток--А--БК--031, Приток--А--БК--032 и др.);

- отслеживание местоположения и статуса переносных GPS-трекеров и других портативных устройств;

- контроль состояния местоположения охраняемых неподвижных объектов;

- наблюдение за текущим статусом всех объектов, находящихся в программе;

- формирование и предоставление детальных отчетов о работе объектов.

Транспортные средства должны быть оснащены бортовыми комплектами «Приток-МПО». Назначение бортового комплекта (БК): это устройство, устанавливаемое на транспорт, которое отслеживает его местоположение с помощью спутников, вычисляет координаты, скорость и направление движения, а также контролирует работу охранной сигнализации. Вся эта информация передается на базовый модуль (БМ). (Рисунок – 1.2)

1. Транспортные средства оборудовать бортовым комплектом риток-БК-032 ГЛОНАСС\GPS (GSM + VHF\UHF). Который может передать информацию на центр мониторинга как по GSM канал, так и по УКВ каналу. Что обеспечит резервирование канала связи с центром мониторинга и обеспечит более уверенный прием и передачу извещений.

2. При установке бортового комплекта в него устанавливается SIM-карта с телефонным номером в сети GSM, разрешенными SMS и GPRS сервисами и положительным балансом на лицевом счете.

3. Питание бортового комплекта осуществить от бортовой сети ТС напряжением от 10,8 до 30 В. Питание УКВ радиостанции производится напряжением от 11 до 14 В.

4. В память бортового комплекта записываются телефонные номера базовых модулей Приток-А-БМ-03 (доступ с других номеров телефонов невозможен).

5. Антенны должны устанавливаться внутри салона автомобиля в местах, где экранирование сигнала минимальное (на передней панели автомобиля, заднем или переднем стекле). Следует учитывать, что лобовые стекла современных автомобилей оборудованы обогревом (в состав таких стекол входит металл), что может мешать приему [21] от навигационных спутников.

6. УКВ радиостанцию необходимо запрограммировать на рабочую частоту и мощность передачи (если до этого она не была настроена на заводе изготовителе). Не рекомендуется устанавливать мощность радиостанции более 15-25 Вт, так это может привести к помехам на другое оборудование ТС.

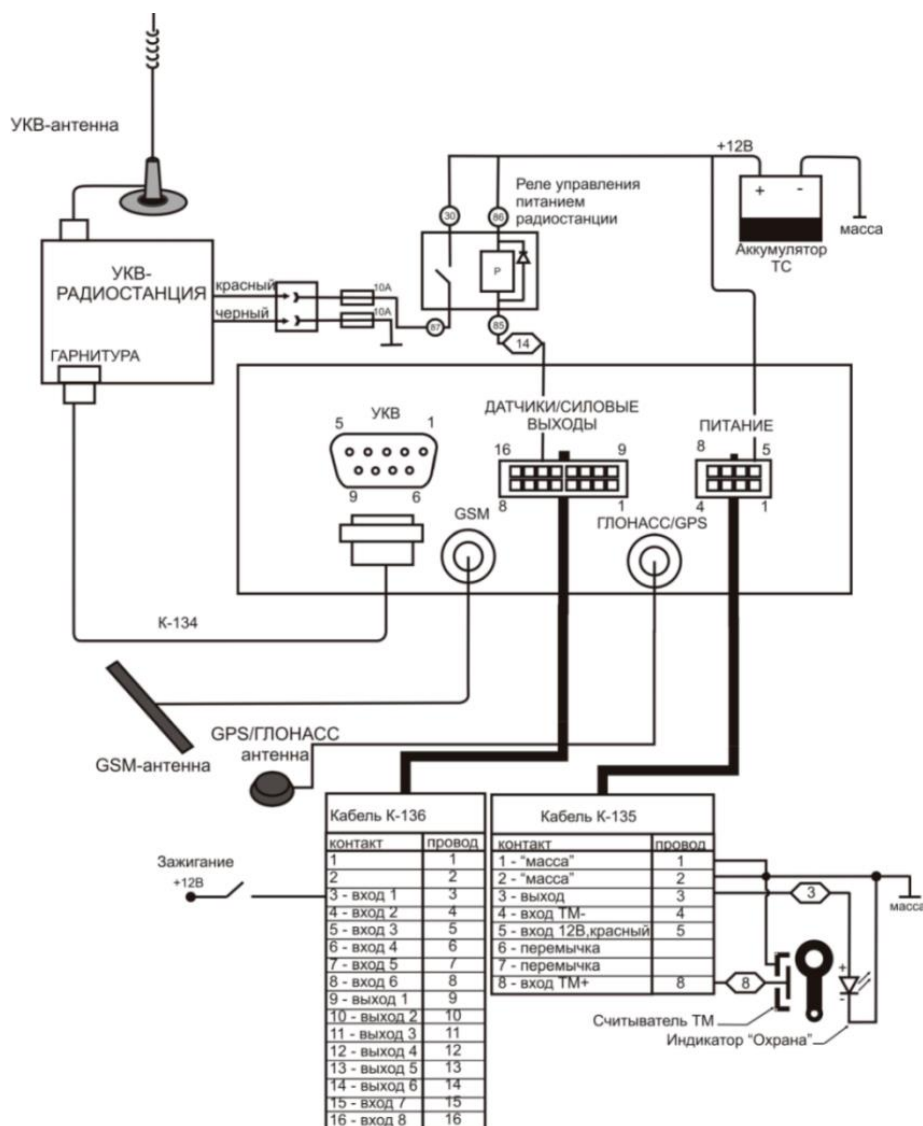


Рисунок 2 – Схема подключений бортового комплекта  
Figure 2 – Onboard Kit Connection Diagram

Монтаж бортового комплекта производить в следующем порядке: выбор места и установка бортового комплекта и УКВ радиостанции, антенн GSM, Глонасс/GPS и УКВ; Подключение к бортовому комплекту шлейфов сигнализации, цепей управления исполнительными устройствами, считывателя ключа ТМ и т.д., согласно схеме подключения; Инициализация SIM-карты бортового комплекта; Программирование параметров бортового комплекта и режимов работы; Занесение в память бортового комплекта электронных ключей; Проверка приема спутников ГЛОНАСС/GPS и прохождение SMS-сообщений от бортового комплекта до АРМ ЦМ; Проверка прохождения тревожных сообщений от шлейфов сигнализации; Проверка работы цепей управления исполнительными устройствами; Сдача пользователю и обучение первоначальным навыкам работы с бортовым комплектом;

Для того чтобы произвести качественный выбор технических средств необходимо провести выбор оптимального состава экспертной группы, которая будет осуществлять выбор. Эксперты должны обладать глубокими профессиональными знаниями в соответствующей области, значительным практическим опытом и способностью формулировать взвешенные и объективные заключения.

В состав экспертной группы, решающей задачу выбора технических средств для организации оптимальной системы мониторинга могут входить следующие специалисты: начальник ОВО, заместитель начальника по технике, начальник МТО, инженер-инспектор, инспектор-дежурный, дежурный МТО.

Для определения оптимального состава экспертной группы выбран метод парных сравнений. Этот метод является одним из самых распространенных для определения весовых объектов, сравниваемых по качественному признаку. Метод парных сравнений основан на поочередном сравнении всех объектов экспертизы друг с другом, и эксперту каждый раз необходимо определить, какой из предъявленных ему объектов лучше по рассматриваемому признаку. При этом порядок предъявления эксперту пар не имеет значения, так как не влияет на результаты парных сравнений. Далее полученную информацию используют для вычисления количественных оценок.

При групповой экспертизе определения относительных весовых объектов по заданному качественному признаку, каждый эксперт представляет для групповой обработки свою матрицу парных сравнений объектов. На основании индивидуальных матриц парных сравнений составляется групповая матрица.

Опрос экспертов производился методом анкетирования.

В первую очередь задача сводится к сведению многокритериальной оптимизации при помощи однокритериальной. Согласно анализу, необходимо найти один, наиболее значимый критерий оптимальности, по которому будем сравнивать систему мониторинга. Для его нахождения необходимо определить значения весовых коэффициентов для каждой из характеристик, и выбрать тот, у которого значение весового коэффициента наибольшее. Т.е. целевая функция сводится к максимуму.

Нахождение критерия будем проводить путем опроса экспертов, методом парных сравнений. В результате будет составлена матрица размером  $n$  на  $n$ , где  $n$  – количество сравниваемых объектов. Матрица будет иметь следующий вид (Таблица 1)

Матрица парных сравнений формируется следующим образом: каждый ее элемент  $a_{ij}$  отражает результат сравнения  $i$ -й и  $j$ -й характеристик:

- 1, присваивается, когда характеристики равны ( $i = j$ ),
- 2, указывает на предпочтительность характеристики  $i$  над  $j$  ( $i > j$ ),
- 0 означает, что характеристика  $j$  предпочтительнее характеристики  $i$  ( $i < j$ ).

Таблица № 1 – Матрица экспертных оценок, полученная методом парных сравнений  
Table 1 – Matrix of expert assessments obtained by the method of paired comparisons

	1	2	...	j	...	n
1	$a_{11}$	$a_{12}$	...	$a_{1j}$	...	$a_{1n}$
2	$a_{21}$	$a_{22}$	...	$a_{2j}$	...	$a_{2n}$
...	...	...	...	...	...	...
i	$a_{i1}$	$a_{i2}$	...	$a_{ij}$	...	$a_{in}$
...	...	...	...	...	...	...
n	$a_{n1}$	$a_{n2}$	...	$a_{nj}$	...	$a_{nn}$

После этого считаем сумму полученных оценок, выставленных экспертами, для каждого столбца построчно.

$$S_j = \sum_{i=1}^n a_{ij} \quad (1)$$

Потом считаем сумму результирующего значения во всех столбцах.

$$S_1 = \sum_{j=1}^n S_j \quad (2)$$

где  $S_j$  – сумма оценок одного эксперта в одном столбце.

Теперь нормируем результаты, полученные в формуле (2). Таким образом, получаем значения весовых коэффициентов для каждого обеспечения и каждой характеристики, определенные путем опроса одного эксперта. Для получения максимально точного результата возьмем среднее значение из весовых коэффициентов, полученные в результате опроса всех экспертов, для каждого обеспечения и характеристики РС.

$$b_r = \frac{1}{m} \sum_{p=1}^m b_{rp} \quad (3)$$

где  $m$  - количество опрашиваемых экспертов,  $b_{rp}$  - весовой коэффициент, полученный для каждого обеспечения характеристики, полученный в результате опроса одного эксперта.

Экспертное оценивание – процесс, в котором оценка проблемы формируется под влиянием мнения группы экспертов. Основа данного метода является достаточная точность.

Были проведены опрос специалистов по месту службы, занятых непосредственно в сфере обеспечения связи и являющимися пользователями техническими средствами. Были опрошены следующие должности: 1) Главный специалист отдела связи. 2) Главный инженер отдела связи. 3) Главный инженер отдела технической и криптографической защиты информации. 4) Начальник МТО. 5) Главный инженер отдела специальной связи и защиты информации. Опрос был проведен по: 1) значимости различных видов обеспечения системы мониторинга подвижных объектов; 2) оценке эффективности базовых станций. 3) экспертной оценке весовых коэффициентов характеристик базовых станций. Применялся метод парных сравнений и предложен алгоритм.

Оценка весовых коэффициентов проводилось методом анкетирования. (ТО - техническое обеспечение, ПО - программное обеспечение, КО - кадровое обеспечение, НПО - нормативно правовое обеспечение, ИО - информационное обеспечение),  $P=1$ , (номер эксперта). Оценки выставлялись по шкале: «важнее» (3 балла), «одинаково» (2 балла), «менее важно» (1 балл). В ходе опроса были получены следующие результаты (Таблица 2).

Таблица 2 – экспертная оценка обеспечений системы связи, данная первым экспертом ( $P = 1$ )  
Table 2 – Expert assessment of the communication system's provisions, provided by the first expert

		j=1	j=2	j=3	j=4	j=5
		ТО	ПО	КО	ИО	Н-П
i=1	ТО		1	2	2	2
i=2	ПО	3		2	2	2
i=3	КО	2	3		1	1
i=4	ИО	2	2	2		1
i=5	НПО	2	3	2	2	
	$S_j$	9	9	8	7	6

Проведем расчет нормированных весовых коэффициентов обеспечений. Для этого в соответствии с вышеприведенным алгоритмом высчитываем, сумму полученных оценок, выставленных Р=1 экспертом, исходя из таблицы (2). Где j – номер столбца; i – номер строки.

$$S_j = S_{j=1} = \sum_{j=1}^n a_j = \sum_{j=1}^n = 3 + 2 + 2 + 2 = 9$$

$$S_2 = 1 + 3 + 2 + 3 = 9$$

$$S_3 = 2 + 2 + 2 + 2 = 8$$

$$S_4 = 2 + 2 + 2 + 1 = 7$$

$$S_5 = 2 + 2 + 1 + 1 = 6$$

Далее рассчитываем сумму баллов присвоенных всем обеспечениям p=1 экспертом:

$$S_{\sum_{p=2}^1} = \sum_{j=1}^n S_{\sum_{j=1}} = 9 + 9 + 8 + 7 + 6 = 39$$

Высчитываем значение нормированного весового коэффициента i=1 обеспечения для Р=1 эксперта по формуле:

$$b_{jp} = \frac{S_{jp}}{S_{\sum}} = b_{11} = \frac{S_{11}}{S_{\sum}} = 9/39 = 0,23$$

$$b_{21} = 9/39 = 0,23$$

$$b_{31} = 8/39 = 0,20$$

$$b_{41} = 7/39 = 0,17$$

$$b_{51} = 6/39 = 0,15$$

Далее был опрошен второй эксперт. Были получены следующие значения. (Таблица – 3)

Таблица № 3 – экспертная оценка обеспечений системы связи МЧС РФ, данная вторым экспертом (Р = 2).

Table 3 – Expert assessment of the provisions of the communication system of the EMERCOM of Russia, provided by the second expert.

		j=1	j=2	j=3	j=4	j=5
		НПО	ИО	КО	ПО	ТО
i=1	НПО		2	3	2	2
i=2	ИО	2		2	1	2
i=3	КО	1	2		2	2
i=4	ПО	2	3	2		2
i=5	ТО	2	2	2	2	
	$S_j$	7	9	9	7	8

Проведем расчет нормированных весовых коэффициентов обеспечений. Для этого в соответствии с вышеприведенным алгоритмом высчитываем, сумму полученных оценок, выставленных Р=2 экспертом, исходя из таблицы (3). Где j – номер столбца; i – номер строки.

Рассчитываем по таблице 3.



$$S_j = S_{j=1} = \sum_{j=1}^n a_j = \sum_{j=1}^n = 2 + 1 + 2 + 2 = 7$$

$$S_2 = 2 + 2 + 3 + 2 = 9$$

$$S_3 = 3 + 2 + 2 + 2 = 9$$

$$S_4 = 2 + 1 + 2 + 2 = 7$$

$$S_5 = 2 + 2 + 2 + 2 = 8$$

Далее рассчитываем сумму баллов присвоенных всем обеспечениям Р=2 экспертом по таблице 4.3

$$S_{\sum_{p=2}=2} = \sum_{j=1}^n S_{jp=1=7+9+9+7+8=40}$$

$$b_{jp} = \frac{S_{jp}}{S_{\sum}} = b_{12} = 7 / 40 = 0,17$$

$$b_{22} = 9 / 40 = 0,22$$

$$b_{32} = 9 / 40 = 0,22$$

$$b_{42} = 7 / 40 = 0,17$$

$$b_{52} = 8 / 40 = 0,2$$

Аналогичным способом проведен опрос еще 3-х экспертов. Для них получили следующие значения:

- 1) третий эксперт (Р=3) -  $b_{13}=0,2$ ;  $b_{23}=0,22$ ;  $b_{33}=0,22$ ;  $b_{43}=0,22$ ;  $b_{53}=0,15$ ;
- 2) четвертый эксперт (Р=4) -  $b_{14}=0,1$ ;  $b_{24}=0,15$ ;  $b_{34}=0,23$ ;  $b_{44}=0,23$ ;  $b_{54}=0,23$ ;
- 3) пятый эксперт (Р=5) -  $b_{15}=0,23$ ;  $b_{25}=0,23$ ;  $b_{35}=0,17$ ;  $b_{45}=0,12$ ;  $b_{55}=0,23$ ;

Следующим шагом высчитываем среднее значение всех весовых коэффициентов  $b_j$

$$b_{1cp} = (b_{11} + b_{12} + b_{13} + b_{14} + b_{15}) / 5 = (0,23 + 0,23 + 0,2 + 0,17 + 0,15) / 5 = 0,196$$

$$b_{2cp} = (b_{21} + b_{22} + b_{23} + b_{24} + b_{25}) / 5 = (0,17 + 0,22 + 0,22 + 0,17 + 0,2) / 5 = 0,196$$

$$b_{3cp} = (b_{31} + b_{32} + b_{33} + b_{34} + b_{35}) / 5 = (0,2 + 0,22 + 0,22 + 0,22 + 0,15) / 5 = 0,202$$

$$b_{41cp,,} = (b_{41} + b_{42} + b_{43} + b_{44} + b_{45}) / 5 = (0,1 + 0,15 + 0,23 + 0,23) / 5 = 0,188$$

$$b_{51p} = (b_{51} + b_{52} + b_{53} + b_{54} + b_{55}) / 5 = (0,23 + 0,23 + 0,17 + 0,12 + 0,23) / 5 = 0,196$$

Таким образом, проведен расчет весовых коэффициентов различных видов обеспечения системы. Проведена экспертная оценка эффективности применения системы с расчетом нормированных весовых коэффициентов обеспечений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колеганов, С. В. Организация деятельности территориальных органов МЧС России в области реагирования пожарно-спасательных подразделений на дорожно-транспортные происшествия в субъектах Российской Федерации в I полугодии 2012 года / С. В. Колеганов, В. В. Тимакова, В. С. Иванов // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2012. – № 6. – С. 69–75.

2. Кочегаров, А. В. Оптимизация маршрутов прибытия пожарных автомобилей в условиях сложных транспортных систем / А. В. Кочегаров, А. Б. Плаксицкий, М. С. Денисов // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. – 2016. – № 1. – С. 74–79.
3. Методы экспертных оценок – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/189626/>. – Дата доступа: 24.10.2025.
4. Таранцев, А. А. Применение теории нечетких множеств к решению пожарно-тактических задач / А. А. Таранцев, П. В. Ширинкин // Пожаровзрывобезопасность. – 2010. – № 8. – С. 59–63.
5. Чубуков, А. Б. Методология оценки состояния дорожно-транспортной аварийности в регионах Российской Федерации : : 05.26.02 / А. Б. Чубуков ; М-во трансп. РФ, Моск. автомобил.-дорож. гос. техн. ун-т (МАДИ). – Орел, 2016. – 397 с.
6. Ширинкин, П. В. Оценка уровня готовности подразделения пожарной охраны к действиям по тушению пожаров : : 05.26.03 / П. В. Ширинкин ; Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России. – СПб., 2010. – 197 с.
7. Crauser, A. A Parallelization of Dijkstra's Shortest Path Algorithm / A. Crauser, K. Mehlhorn, U. Meyer, P. Sanders // Mathematical Foundations of Computer Science : Proceedings / Lecture Notes in Computer Science. – Berlin, Heidelberg : Springer, 1998. – Vol. 1450. – P. 722–731. – DOI: 10.1007/BFb0055823.

## REFERENCES

1. Koleganov, S. V. Organization of the activities of the territorial bodies of the Ministry of Emergency Situations of Russia in the field of responding fire and rescue units to road accidents in the subjects of the Russian Federation in the first half of 2012 / S. V. Koleganov, V. V. Timakova, V. S. Ivanov // Problems of safety and emergency situations. - 2012. – No. 6. – pp. 69-75.
2. Kochegarov, A.V. Optimization of routes of arrival of fire trucks in conditions of complex transport systems / A.V. Kochegarov, A. B. Plaksitsky, M. S. Denisov // Bulletin of the St. Petersburg University of the Ministry of Emergency Situations of Russia. - 2016. – No. 1. – pp. 74-79.
3. Methodical index – Access mode: <https://habr.com/ru/post/189626/>. – Access date: 10/24/2025.
4. Tarantsev, A. A. Application of the theory of fuzzy sets to solving fire-tactical tasks / A. A. Tarantsev, P. V. Shirinkin // Fire and explosion safety. - 2010. – No. 8. – pp. 59-63.
5. Chubukov, A. B. Methodology for assessing the state of road traffic accidents in the regions of the Russian Federation : 05.26.02 / A. B. Chubukov ; Moscow Transport. RF, Moscow. the car.-expensive state technical un-t (MADI). – Orel, 2016. – 397 p.
6. Shirinkin, P. V. Assessment of the level of readiness of the fire protection unit for fire extinguishing operations : 05.26.03 / P. V. Shirinkin ; St. Petersburg University of the Ministry of Emergency Situations of Russia. – St. Petersburg, 2010. – 197 p.
7. Krauser, A. Parallelization of Dijkstra's shortest path algorithm / A. Krauser, K. Melhorn, W. Meyer, P. Sanders // Mathematical Foundations of computer Science : Materials / Lecture notes on computer science. – Berlin, Heidelberg: Springer, 1998. – Volume 1450. – pp. 722-731. – DOI: 10.1007/BFb0055823.

## РАЗВИТИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ В ГОРОДАХ-МИЛЛИОННИКАХ РОССИИ: УСПЕХИ И ПРЕПЯТСТВИЯ

О. В. Сторожева <sup>1</sup>, С. В. Дорохин <sup>2</sup>, А. А. Чепрасова <sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет  
имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, Россия

<sup>3</sup> Воронежский государственный медицинский университет  
имени Н.Н. Бурденко, г. Воронеж, Россия

<sup>1</sup> storogeva2001@gmail.com <sup>3</sup>

<sup>2</sup> dsvvrn@yandex.ru

<sup>3</sup> cheprasova\_81@mai.ru

**Аннотация.** Данная статья обзора ряд реноваций и современных тенденций развития интеллектуальных транспортных систем (ИТС) в городах-миллионниках России, такие как управление дорожным движением, изменение уровня информационной поддержки участников на более высокий и так далее. Приведены, как успехи, так и препятствия, тормозящие дальнейшее внедрение ИТС.

**Ключевые слова:** транспорт, интеллектуальные транспортные системы (ИТС), дорожное движение, цифровое развитие, инфраструктура, транспортный поток.

## DEVELOPMENT OF INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS IN RUSSIA'S MILLION-PLUS CITIES: SUCCESSES AND CHALLENGES

O. V. Storozheva <sup>1</sup>, S. V. Dorokhin <sup>2</sup>, and A. A. Cheprasova <sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Voronezh State University of Forestry and Technologies  
named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

<sup>3</sup> Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko, Voronezh, Russia

<sup>1</sup> storogeva2001@gmail.com <sup>4</sup>

<sup>2</sup> dsvvrn@yandex.ru

<sup>3</sup> cheprasova\_81@mai.ru

**Abstract.** This article reviews a number of renovations and modern trends in the development of intelligent transport systems (ITS) in Russia's million-plus cities, such as traffic management, changing the level of information support for participants to a higher level, and so on. Both successes and obstacles that hinder the further implementation of ITS are presented.

**Keywords:** transport, intelligent transport systems (ITS), traffic, digital development, infrastructure, and traffic flow.

Транспортная отрасль имеет значительную роль в области экономики России, поскольку обеспечивает логистику товаров и услуг, рабочей силы как внутри, так и за пределами страны, при этом объединяя автомобильный, железнодорожный, воздушный, морской, внутренний водный и трубопроводный виды транспорта, каждый из которых имеет свое значение и специфику [1].

Одним из перспективных направлений современной транспортной сети является создание интеллектуальных транспортных систем (ИТС) [2]. Данная разработка представляет собой комплекс инноваций в сфере цифровых технологий, ориентированных на модернизацию транспортной инфраструктуры и повышение эффективности городских перевозок, путем управления автомобильными потоками, сбора информации, анализа трафика и т.д. Такие нововведения позволят усовершенствовать координацию транспортных потоков (ТП), тем самым, сократить время в пути, снизить заторы на дорогах и вредные выбросы веществ в атмосферу, включая углекислый газ (CO<sub>2</sub>) [3] и повысить безопасность дорожного движения.

На данный момент на территории Российской Федерации инновации ИТС в сфере транспортной инфраструктуры используется в 62 регионах нашей страны. Рассмотрим некоторые из них.

Интеллектуальная транспортная система в Москве насчитывает более 50 тыс. светофоров, 3,8 тыс. камер, 3,9 тыс. датчиков и электронных табло. На данный момент в Центральной организации дорожного движения (ЦОДД) реализованы ИТС проекты:

- Автоматизированная система управления дорожным движением (АСУДД), которая позволяет совершать управление трафиков в режиме реального времени;
- Комплексная схема организации Дорожного движения (КСОДД), оснащает непрерывность цифрового проектирования объектов организации дорожного движения надзор за сроком функционирования проекта;
- Динамическая транспортная модель (ДТМ), предназначена для основы виртуального цифрового двойника, выступающего в роли имитации и интеллектуальных методов исследования процессов эффективности дорожного движения.

На втором месте по модернизации интеллектуальной транспортной системы находится Санкт-Петербург. В данном регионе реализованы такие проекты, как установка датчиков, которые позволяют собирать сведения о плотности транспортного потока на главных магистралях города; также установлены умные светофоры, считывающие информацию о загруженности дорог и в зависимости от нее, переключает сигналы, тем самым, позволяя снижать количество заторов; помимо выше перечисленного, создан центр управления дорожным движением, который получает данные от детекторов и координирует работу светофоров [4]. В последнюю очередь, можно отметить работу мобильных приложений и онлайн-сервисы, они позволяют в онлайн-режиме следить за ситуациями на дорогах.

В Красноярске разработали для рельсового транспорта оборудование со специальными модулями, позволяющие подавать сигнал светофору о скором прибытии трамвая, чтобы включался зеленый свет для него заранее, тем самым, не затрудняя движения других транспортных средств на дорогах.

Однако для успешного функционирования ИТС необходимо учитывать ряд препятствий. Одним из ключевых барьеров, является высокая стоимость технологий, которые требуют существенных инвестиций в оборудование, программное обеспечение и инфраструктуру, не многие регионы могут позволить себе такие передовые технологии, так как они ограничены по бюджету. Еще одной из трудностей является отсутствие единой стандартизации, которая создает проблему при интегрировании разных компонентов системы. На юридическом уровне, развитие интеллектуальных транспортных систем также сталкивается с затруднениями. Зачастую законодательство уступает техническому прогрессу, так как недостаточно нормативно-правовой базы, регламентирующей использование инновационных решений [0]. Организационная структура управления транспортной инфраструктурой, тоже имеет препятствия. Взаимосвязь действий и управления эффективных решений недостаточно продуктивна, так как взаимодействие между ведомствами и организациями, регулирующие

транспортную систему затруднено. Социально-культурный аспект также можно отнести к препятствиям использования ИТС, из-за неготовности некоторых граждан принять новейшие разработки.

Таким образом, появление и развитие интеллектуальных транспортных систем является существенным направлением повышающее качество жизни населения больших городов, но одновременного с этим, ИТС сталкивается с рядом вызовов, в виде экономического ограничения, недостаточная нормативная база и инфраструктурные проблемы. Важно продолжать работу над оптимизацией интеллектуальной транспортной системой, при этом нужно учитывать специфику каждого отдельного региона, чтобы обеспечить благоприятное и безопасное передвижение горожан.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ганичев, Д. Р. Современные особенности транспортной системы в Российской Федерации / Д. Р. Ганичев // Вестник науки. – 2024. – № 3 (72), Т. 5. – С. 753–763.
2. Крапивина, А. В. Интеллектуальные транспортные системы в России: анализ развития и оценка перспектив / А. В. Крапивина, Д. К. Инечкин, В. М. Левина // Актуальные аспекты модернизации Российской экономики : X Всероссийская заочная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных, Санкт-Петербург, 2023 г. : сборник материалов – Санкт-Петербург, 2023. – С. 336–340.
3. Сторожева, О. В. Умные дороги будущего: инфраструктура нового поколения / О. В. Сторожева, С. В. Дорохин, А. А. Чепрасова // Арктика: перспективы, инновации и развитие регионов : IX международный арктический саммит, Москва, 2025 г. : сборник материалов / [редкол.: ...]. – Москва, 2025. – С. 311–313.
4. Нуриахметова, К. П. Российские и зарубежные практики применения технологий электронного управления и «Умного города» в городском развитии (на примере г. Санкт-Петербурга и г. Сингапур) / К. П. Нуриахметова // Уфимский гуманитарный научный форум. – 2023. – № 2 (14). – С. 135–149.
5. Лыкова, М. П. Перспективы развития интеллектуальных транспортных систем в России на примере железнодорожного транспорта / М. П. Лыкова // Вызовы глобализации и развитие цифрового общества в условиях новой реальности : XII международная научно-практическая конференция, Москва, 2023 г. : сборник материалов – Москва, 2023. – С. 201–206.

## REFERENCES

1. Ganichev, D. R. Modern features of the transport system in the Russian Federation / D. R. Ganichev // Bulletin of Science. – 2024. – № 3 (72), Vol. 5. pp. 753-763.
2. Krapivina, A.V. Intelligent transport systems in Russia: analysis of development and assessment of prospects / A.V. Krapivina, D. K. Inechkin, V. M. Levina // Actual aspects of modernization of the Russian economy : X All-Russian Correspondence Scientific and practical Conference of students, postgraduates and young Scientists, St. Petersburg, 2023 : collection of materials / [editorial board: ...]. – St. Petersburg-Petersburg, 2023. – pp. 336-340.
3. Storozheva O. V. Smart roads of the future: a new generation of infrastructure / O. V. Storozheva, S. V. Dorokhin, A. A. Cheprasova // Arctic: prospects, innovations and regional development : IX International Arctic Summit, Moscow, 2025 : collection of materials – Moscow, 2025. – pp. 311-313.
4. Nuriakhmetova, K. P. Russian and foreign practices of using e-government and Smart City technologies in urban development (on the example of St. Petersburg and Singapore) / K. P. Nuriakhmetova // Ufa Humanitarian Scientific Foundation. – 2023. – № 2 (14). – Pp. 135-149.
5. Lykova, M. P. Prospects for the development of intelligent transport systems in Russia on the example of railway transport / M. P. Lykova // Challenges of globalization and the development of a digital society in a new reality : XII International Scientific and Practical Conference, Moscow, 2023: collection of materials – Moscow, 2023. – pp. 201-206.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА ПАССАЖИРОПОТОКОВ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИИ ДАННЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ И ТЕЛЕМАТИЧЕСКИХ ПЛАТФОРМ

Д. С. Корчагин<sup>1</sup>, С. С. Евтюков<sup>2</sup>

<sup>1</sup> «Современные технологии», Санкт-Петербург, Россия,

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Россия,

<sup>1</sup> dsk@transportsoft.ru

<sup>2</sup> sevtyukov@lan.spbgasu.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается проблема повышения эффективности управления городским пассажирским транспортом. Предлагается подход, основанный на интеграции данных от разнородных источников: телематических платформ, систем мониторинга состояния водителя, подсистем контроля технического состояния транспортных средств и элементов интеллектуальных транспортных систем.

**Ключевые слова:** пассажиропоток, мониторинг, городской пассажирский транспорт, интеллектуальные транспортные системы, телематика, большие данные, машинное обучение, оптимизация маршрутов, данные датчиков.

## IMPROVEMENT OF PASSENGER FLOW MONITORING METHODS BASED ON THE INTEGRATION OF INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS AND TELEMATICS PLATFORM DATA

D. S. Korchagin<sup>1</sup>, S. S. Evtyukov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> «Modern Technologies», Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia

<sup>1</sup> dsk@transportsoft.ru

<sup>2</sup> sevtyukov@lan.spbgasu.ru

**Abstract.** The article addresses the challenge of improving the efficiency of urban public transport management. It proposes an approach based on integrating data from heterogeneous sources: telematics platforms, driver state monitoring systems, subsystems for monitoring the technical condition of vehicles, and components of intelligent transportation systems.

**Keywords:** passenger flow, monitoring, urban public transport, intelligent transport systems, telematics, big data, machine learning, route optimization, sensor data.

Эффективность функционирования системы городского пассажирского транспорта общего пользования (ГПТ ОП) напрямую зависит от точности и оперативности данных о пассажиропотоке. Эти данные являются основой для принятия ключевых управленческих решений: формирования маршрутной сети, установления интервалов движения, распределения подвижного состава и обоснования тарифной политики. Несмотря на свою критическую важность, методы сбора данной информации в большинстве российских городов остаются архаичными. Преобладающие подходы –

талонный учет, выборочные анкетирования и ручной подсчет – обладают рядом системных недостатков: высокая трудоемкость, значительная временная задержка (данные репрезентируют ситуацию недельной или даже месячной давности), низкая пространственно-временная детализация и подверженность человеческому фактору [1].

В то же время, современный подвижной состав и инфраструктура ГПТ ОП все чаще оснащаются комплексом датчиков и телематических систем, первоначальной целью которых является повышение безопасности и операционной эффективности. Как следует из материалов исследований, посвященных безопасности пассажирских перевозок, это системы мониторинга водителя (DSM), расширенные системы помощи водителю (ADAS), телематические платформы управления автопарком и комплексные системы диагностики. Однако потенциал данных, генерируемых этими системами, далеко не исчерпывается их прямым назначением.

Целью данного исследования является разработка методики совершенствования мониторинга пассажиропотоков на основе интеграции и анализа данных от существующих интеллектуальных систем транспорта. Для достижения цели поставлены задачи проанализировать потенциальные источники данных о пассажиропотоке в составе современных телематических и интеллектуальных систем, предложить архитектуру системы мониторинга, агрегирующую и преобразующую разрозненные данные в структурированные метрики пассажиропотока, а также оценить эффект от внедрения предлагаемой системы для управления транспортным комплексом [2].

Предлагаемый подход основан на использовании уже развертываемых или планируемых к внедрению систем, что минимизирует капитальные затраты. Ключевые источники данных включают телематические платформы управления автопарком и являются ядром сбора информации. Помимо данных GPS/ГЛОНАСС о местоположении и скорости, они фиксируют:

Срабатывание датчиков дверей. Каждое событие «открытие/закрытие дверей» на остановке является прямым индикатором посадки/высадки пассажиров. Корреляция временных меток этих событий с геопозицией позволяет точно определить остановочный пункт.

Данные с датчиков нагрузки (тензодатчиков). Установленные на пневмоподвеске или осях транспортного средства, эти датчики позволяют в реальном времени отслеживать изменение массы салона, что напрямую коррелирует с количеством вошедших и вышедших пассажиров.

Стиль вождения. Данные о резких торможениях и ускорениях, собираемые для скоринга водителя, могут косвенно указывать на переполненность салона, влияющую на динамику транспортного средства.

Также источники данных включают в себя системы мониторинга состояния водителя (DSM) и видеонаблюдения. Камеры, изначально предназначенные для контроля усталости и отвлечения внимания водителя, могут быть дооснащены алгоритмами компьютерного зрения для анализа салона. Современные нейросетевые модели позволяют с высокой точностью:

Подсчитывать количество вошедших и вышедших пассажиров в дверных проемах.

Оценивать заполненность салона (коэффициент наполнения) [3].

Фиксировать факты проезда «зайцев» (для верификации данных с других датчиков).

Валидация по данным безналичной оплаты также является одним из источников данных. Интеграция с валидаторами и системами электронных билетов предоставляет точные данные о количестве оплативших проезд. Хотя этот метод не учитывает льготных

пассажиров и не фиксирует точки высадки, он служит отличным инструментом для калибровки и проверки точности моделей, построенных на косвенных данных.

Обратим внимание на элементы Интеллектуальных Транспортных Систем (ИТС). Данные с камер видеонаблюдения на остановках и перекрестках, а также с детекторов транспорта, могут использоваться для верификации данных с подвижного состава и анализа скопления людей на остановочных пунктах.

Предлагаемая система представляет собой многоуровневую платформу для сбора, обработки и анализа данных.

Уровень сбора данных. На транспортных средствах устанавливаются датчики (GPS/ГЛОНАСС-модули, датчики дверей, тензодатчики, камеры). Данные в реальном времени передаются через мобильные сети (4G/5G) на телематические шлюзы.

Уровень агрегации и предобработки. Телематическая платформа выполняет первичную обработку: фильтрацию шумов, ассоциацию событий с географическими объектами (остановками), временную синхронизацию потоков данных.

Уровень аналитики и машинного обучения. Это ядро системы. На этом этапе строится обобщенная модель пассажиропотока для каждого транспортного средства на основе множества сигналов (двери + нагрузка + видео). Применяются алгоритмы регрессии и классификации для компенсации погрешностей каждого отдельного метода. Происходит агрегация данных по маршрутам, остановкам и временным интервалам. Формируются производные показатели: коэффициент наполнения, скорость движения на перегоне, время простоя на остановке.

Визуализация и отчетность. Обработанные данные представляются операторам и управленцам в виде интерактивных дашбордов, тепловых карт пассажиропотока, автоматических отчетов о загрузке маршрутов и рекомендаций по корректировке расписания.

Внедрение описанной системы позволит перейти от эпизодического и неточного учета пассажиропотока к непрерывному и детализированному мониторингу в режиме, близком к реальному времени.

Повышение точности планирования. Диспетчерские службы получают объективные данные для оперативной корректировки интервалов движения, введения дополнительных рейсов в часы пик или укороченных маршрутов в периоды низкого спроса.

Оптимизация маршрутной сети. Появляется возможность выявить неэффективные и дублирующие маршруты, а также определить потребность в новых маршрутах на основе реального пассажиропотока.

Обоснованное тарифообразование. Данные о реальном объеме перевозок служат прозрачной основой для расчетов с перевозчиками и установления экономически обоснованных тарифов.

Снижение эксплуатационных расходов. Оптимизация использования подвижного состава приводит к экономии топлива, сокращению пробега и износа транспорта.

Минимизация потерь от неоплаченных проездов. Точный учет высадки и контроль с помощью видеоаналитики позволяют снизить уровень безбилетного проезда.

Снижение капитальных затрат. Использование уже внедряемых систем безопасности делает предлагаемое решение высокорентабельным.

Повышение качества обслуживания пассажиров. Снижение времени ожидания и переполненности салонов ведет к росту удовлетворенности граждан транспортными услугами [4].

Повышение безопасности. Интеграция с системами DSM и ADAS, изначально направленными на снижение аварийности, остается в силе, создавая синергетический эффект.



Таким образом, представленная в исследовании методология позволяет кардинально усовершенствовать процесс мониторинга пассажиропотоков на городском пассажирском транспорте. Интеграция данных от систем, первоначально нацеленных на безопасность (DSM, ADAS) и операционную эффективность (телематические платформы, диагностика), открывает новые возможности для управления транспортным комплексом на основе данных (data-driven management).

Ключевым преимуществом подхода является его экономическая целесообразность и практическая реализуемость, так как он опирается на уже развертываемую или планируемую к внедрению аппаратную базу. Дальнейшие исследования в данном направлении должны быть сконцентрированы на разработке и обучении специализированных алгоритмов машинного обучения для наиболее точного преобразования сырых данных датчиков в метрики пассажиропотока, а также на создании стандартизированных протоколов обмена данными между разрозненными системами для формирования единого информационного пространства городского транспорта.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власов В.М., Сильянов В.В. Интеллектуальные системы управления городским пассажирским транспортом. – М.: МАДИ, 2021. – 278 с.
2. Шелест А.С., Иванов Н.К. Применение технологий больших данных и машинного обучения для анализа пассажиропотоков в городской транспортной системе // Транспорт: наука, техника, управление. — 2023. — № 5. — С. 45–51.
3. Chen X., Liu Y., Wang H. A comprehensive framework for real-time passenger flow estimation in urban rail transit using multi-sensor data fusion // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. — 2022. — Vol. 134. — P. 103456.
4. Zhou M., Wang D., Li Q. Vision-Based Passenger Flow Monitoring and Its Application in Bus Operation Management // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. — 2023. — Vol. 24, Issue 1. — Pp. 1020-1033.

### REFERENCES

1. Vlasov V.M., Silyanov V.V. Intelligent control systems for urban passenger transport. – M.: MADI, 2021. – 278 p.
2. Shelest A.S., Ivanov N.K. Application of Big Data Technologies and Machine Learning for Passenger Flow Analysis in an Urban Transport System // Transport: Science, Technology, Management. – 2023. – No. 5. – P. 45-51.
3. Chen X., Liu Y., Wang H. A comprehensive framework for real-time passenger flow estimation in urban rail transit using multi-sensor data fusion // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. — 2022. — Vol. 134. — P. 103456.
4. Zhou M., Wang D., Li Q. Vision-Based Passenger Flow Monitoring and Its Application in Bus Operation Management // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. — 2023. — Vol. 24, Issue 1. — Pp. 1020-1033.

УДК 656

DOI: 10.58168/MSTT2025\_77-80

## К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ (СИМ)

Э.Н. Бусарин<sup>1</sup>, Р.А. Кораблев<sup>2</sup>, А.Э. Бусарина<sup>3</sup>, М.В. Блинова<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова,  
г. Воронеж, Россия, busarin.eduard@mail.ru

**Аннотация.** В статье проведен комплексный анализ проблемы обеспечения безопасности участников дорожного движения, использующих средства индивидуальной мобильности (СИМ). Исследование включает детальный разбор причин и статистических закономерностей дорожно-транспортных происшествий с участием СИМ. На основе полученных данных сформулирован системный комплекс предложений и рекомендаций, направленных на снижение аварийности и повышение уровня безопасности пользователей данного вида транспорта.

**Ключевые слова:** СИМ, улично-дорожная сеть (УДС), дорожно-транспортное происшествие (ДТП), транспортное средство (ТС), пешеход, безопасность.

## ON THE ISSUE OF IMPROVING ROAD SAFETY FOR USERS OF PERSONAL MOBILITY VEHICLES (IMV)

E.N. Busarin<sup>1</sup>, R.A. Korablev<sup>2</sup>, A.E. Busarina<sup>3</sup>, M.V. Blinova<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,  
Voronezh, Russia, busarin.eduard@mail.ru

**Abstract.** The article provides a comprehensive analysis of the problem of ensuring the safety of road users using means of individual mobility (SIM). The study includes a detailed analysis of the causes and statistical patterns of traffic accidents involving SIM. Based on the data obtained, a systematic set of proposals and recommendations has been formulated aimed at reducing accidents and improving the safety of users of this type of transport.

**Key words:** SIM, road network (UDS), traffic accident, vehicle (TS), pedestrian, safety.

В России активное использование устройств с электродвигателями, предназначенными для передвижения имеет небольшую историю (более десяти лет). Изначально данные устройства (электроскейтборды, гироскутеры, сигвеи, моноколеса, электросамокаты) воспринимались потребителем как средство для досуга и спорта. Однако с развитием технологий, в первую очередь электрических двигателей и аккумуляторов, - начался качественный скачок в их конструкции. Инженерная мысль была направлена на то, чтобы сделать их не просто забавными гаджетами, а полноценными городскими транспортными единицами, отвечающими запросам на мобильность и эффективность.

В начале появления данных устройств отсутствовала квалификация данных средств в Правилах дорожного движения (ПДД) и весной 2023 года данные устройства получили статус транспортных средств (ТС). В ПДД было введено определение данных устройств как «СИМ». Согласно Постановлению Правительства РФ от 06.10.2022 №1769 [1] и изменениям в ПДД от 1 марта 2023 года СИМ «это - ТС, у которых есть одно или больше колес (роликов),

приводимых в действие одним или несколькими двигателями, и рассчитанные на одиночное передвижение» [2]. Наиболее простым и удобным «знакомым с детства» для людей разных возрастов и физических данных стал - электросамокат. В дальнейшем появилось большое количество электровелосипедов используемых в сервисах доставки, которые в ПДД приравнены к обычным велосипедам с педалями при условии, что мощность электродвигателя не превышает 0,25 кВт. Отметим, что теперь все пункты ПДД, в которых используется термин ТС относятся и к СИМ.

Широкое распространение СИМ и их совершенствование в технической части привело к активному использованию СИМ на УДС городов и населенных пунктов. Конструкции и технические характеристики данных типов ТС с учетом современных технологий совершенствуются производителями и позволяют развивать достаточно высокие показатели скорости движения. Именно этот показатель является как положительным с точки зрения выбора и популяризации СИМ, так и негативным с точки зрения безопасности движения. В подтверждение следует привести статистические данные ДТП с участием СИМ. Так, например, в Воронеже зарегистрировано в 2023 году 13 ДТП с участием СИМ в которых пострадали 8 человек, а в 2024 году количество ДТП с участием СИМ выросло более чем в 2 раза - 31 ДТП в которых пострадали 32 человека [3]. Виновники ДТП были привлечены к ответственности по статьям 12.29 и 12.30 КоАП РФ (размер штрафа составляет от 800 до 1500 руб.) [4]. Ответственность за детей до 16 лет несут родители. Статистические данные ДТП с участием СИМ разнятся в разных регионах РФ и имеют корреляцию в зависимости от количества и интенсивности использования СИМ на УДС (как личных, так и арендованных). Таким образом, к сожалению, с ростом популярности этого вида транспорта существенно возросло количество происшествий и как следствие количество в них погибших и раненых.

Для исследования и принятия решений по повышению безопасности передвижения участников СИМ необходимо изучение статистических данных и причинно-следственной связи происшествия. Проведя статистический анализ, следует отметить, что виновниками ДТП являются ~60% взрослые (25-40 лет) и ~30% подростки в возрасте (14-18 лет). Опасными ситуациями и причинами происшествия являются наезд на пешехода 40-50% случаев, столкновение с ТС 30-40% и падение с СИМ по вине пользователя СИМ. Основными причинами со стороны пользователей СИМ являются движение в состоянии алкогольного опьянения (15-20% случаев), превышение скорости (особенно на тротуарах), выезд на проезжую часть УДС при запрете и одновременное использование телефона при управлении. Следует отметить, что на количество ДТП влияет отставание развития транспортной инфраструктуры (отсутствие выделенных полос для СИМ, конфликтные зоны с пешеходами и неудовлетворительное состояние дорожного покрытия) по отношению к количеству эксплуатируемых СИМ. Так же на количество ДТП влияет сезонность, так, например, рост ДТП приходится на теплый сезон (май-сентябрь) и снижение более чем в 3 раза в зимние месяцы.

Тяжесть последствий зависит от множества параметров, одним из которых, как было отмечено выше, является скорость движения СИМ. Для снижения количества ДТП с ранением и гибелью участников СИМ в настоящее время введены ограничения скорости (не более 25 км/ч), возраст и место передвижения в ПДД.

Ключевым аспектом в дифференциации правового статуса средств индивидуальной мобильности выступает комплекс технико-эксплуатационных параметров, среди которых доминирующее значение приобретают мощность силовой электроустановки и конструктивно обусловленные скоростные характеристики. Устройства с электродвигателем номинальной мощностью не более 0,25 кВт и автоматическим отключением при достижении скорости 25 км/ч признаются СИМ в чистом виде. Превышение указанных параметров переводит такое устройство в категорию мопедов, что влечет необходимость получения водительского удостоверения категории «М» и его обязательной регистрации в установленном порядке.

Центральным элементом правового регулирования является иерархическая система выбора пространственного положения участника движения на СИМ в границах улично-дорожной сети. Для лиц, достигших 14-летнего возраста, регламентирован иерархический принцип выбора путей передвижения. Первостепенным пространством для движения выступают специализированные велосипедные и велопешеходные дорожки. В условиях их физического или функционального отсутствия, право перемещения транслируется на тротуары и пешеходные пространства. Для несовершеннолетних в возрасте до 14 лет установлен абсолютный запрет на движение по проезжей части УДС.

Особого внимания заслуживает норма, осуществлять пересечение проезжей части по пешеходным переходам исключительно в пешем порядке, предварительно спешившись. Данное требование направлено на минимизацию аварийности, поскольку водители ТС психологически и физически не готовы к появлению на переходе высокоскоростных участников движения.

Система запретов и ограничений для пользователей СИМ включает: абсолютный запрет управления в состоянии любого вида опьянения; запрет перевозки пассажиров при отсутствии соответствующей конструктивной возможности; запрет буксировки других ТС; ограничения по габаритам перевозимых грузов; требование об обязательном использовании световозвращающих элементов в темное время суток. Установлен рекомендованный скоростной режим в зонах возможного появления пешеходов - не более 20 км/ч.

В связи с этим и руководствуясь целями, обозначенными в федеральном проекте «Безопасность дорожного движения» необходимо применение, мер направленных на повышение безопасности движения при эксплуатации СИМ представленных на рисунке 1 [5].

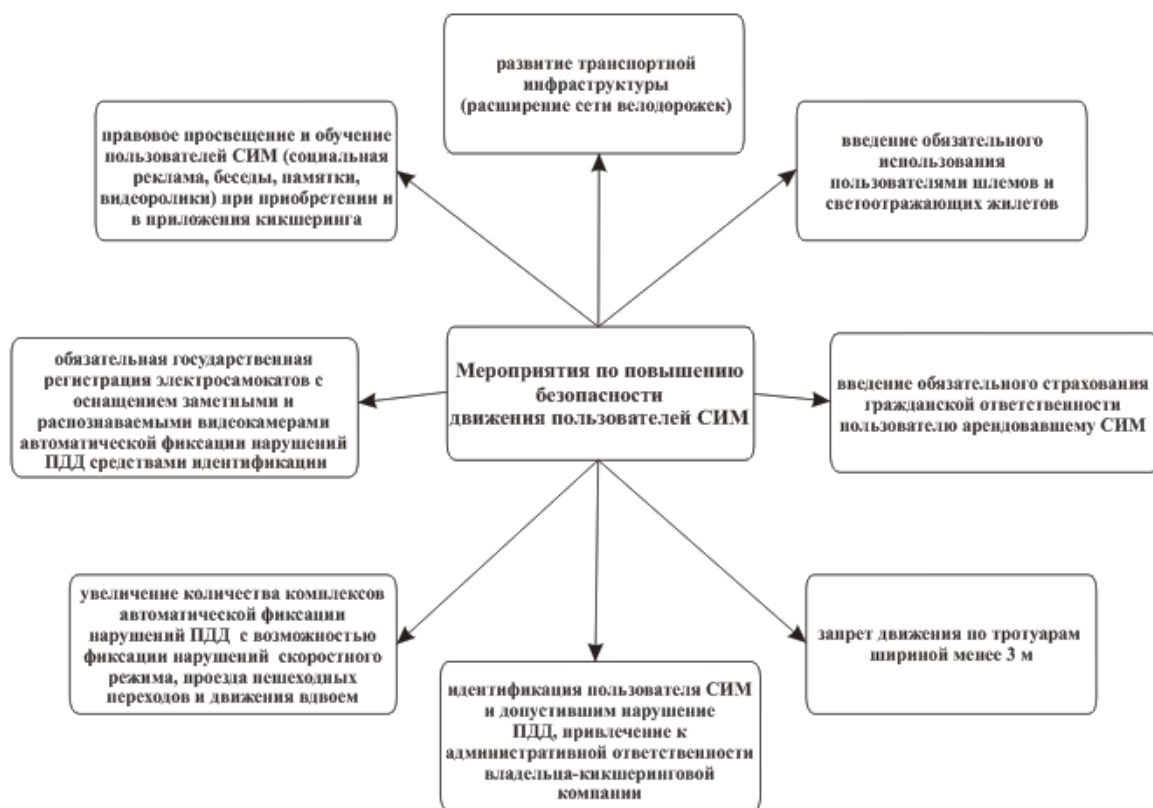


Рисунок 1 – Мероприятия по повышению безопасности движения пользователей СИМ  
Figure 1 – Measures to improve the safety of movement of SIM users

Введение специализированного правового регулирования движения пользователей СИМ, представляет собой последовательный шаг в адаптации нормативной базы к технологическим инновациям в сфере «urban mobility» и создает правовые предпосылки для безопасной интеграции новых видов персонального транспорта в существующую транспортную инфраструктуру.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Постановление Правительства РФ от 06.10.2022 № 1769 «Об утверждении Правил организации дорожного движения и внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации» (вместе с «Правилами организации дорожного движения») // СПС «КонсультантПлюс». – URL: <http://www.consultant.ru/> (дата обращения: 09.11.2025).
2. Правила дорожного движения Российской Федерации : утв. постановлением Совета Министров – Правительства РФ от 23 окт. 1993 г. № 1090 // СПС «КонсультантПлюс». – URL: <http://www.consultant.ru/> (дата обращения: 09.11.2025).
3. Государственная инспекция безопасности дорожного движения МВД России (ГИБДД) : офиц. сайт. – URL: <http://stat.gibdd.ru/> (дата обращения: 09.11.2025).
4. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях : от 30 дек. 2001 г. № 195-ФЗ : принят Гос. Думой 20 дек. 2001 г. : одобр. Советом Федерации 26 дек. 2001 г. : в ред. от 31.07.2025 // СПС «КонсультантПлюс». – URL: <http://www.consultant.ru/> (дата обращения: 09.11.2025).
5. Бусарин, Э. Н. Анализ существующей ситуации и разработка предложений по организации и безопасности движения средств индивидуальной мобильности / Э. Н. Бусарин, Р. А. Кorablev, Ю. В. Струков, В. П. Белокуров // Перспективы развития, инновации и информационные технологии на транспорте : материалы Международной молодежной научно-практической конференции, Воронеж, 17–18 октября 2024 г. / отв. ред. Д. А. Жайворонок ; ВГЛУ. – Воронеж, 2024. – С. 59–62.

## REFERENCES

1. Decree of the Government of the Russian Federation dated 06.10.2022 No. 1769 "On Approval of the Rules of Traffic Management and Amendments to Certain Acts of the Government of the Russian Federation" (together with the "Rules of Traffic Management") // SPS "ConsultantPlus". – URL: <http://www.consultant.ru/> (date of reference: 11/09/2025).
2. Rules of the Road of the Russian Federation : approved by Resolution of the Council of Ministers of the Government of the Russian Federation dated October 23, 1993 No. 1090 // SPS "ConsultantPlus". – URL: <http://www.consultant.ru/> (date of access: 11/09/2025).
3. The State Road Safety Inspectorate of the Ministry of Internal Affairs of Russia (GIBDD) : official. website. – URL: <http://stat.gibdd.ru/> (date of application: 11/09/2025).
4. Code of Administrative Offences of the Russian Federation : dated 30 Dec. 2001 No. 195-FZ : adopted by the State Duma on December 20. 2001 : approval. By the Federation Council on December 26. 2001 : as amended . dated 07/31/2025 // SPS "ConsultantPlus". – URL: <http://www.consultant.ru/> (date of access: 11/09/2025).
5. Busarin E. N., Korablev R. A., Strukov Yu. V., Belokurov V. P. Busarin E. N., Analysis of the existing situation and development of proposals for the organization and safety of movement of means of individual mobility // Prospects of development, innovations and information technologies in transport : proceedings of the International Youth Scientific and Practical Conference, Voronezh, October 17-18, 2024 / ed. by D. A. Zhayvoronok ; VGLTU. Voronezh, 2024. pp. 59-62.

## ДЕФИЦИТ ПАРКОВОЧНЫХ МЕСТ: ПРИЧИНЫ, ПОСЛЕДСТВИЯ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

С.В. Дорохин<sup>1</sup>, Р.В. Мороз<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,  
г. Воронеж, Россия

Автор, ответственный за переписку: Мороз Роман Вячеславович, roman.moroz2015@yandex.ru

**Аннотация.** В работе сделан анализ существующей проблемы с парковочными местами в городе Воронеже, а именно в спальных районах, промышленных зонах и вблизи торговых центров. Неотъемлемым следствием роста благосостояния граждан можно считать постоянно растущее число автомобилей на 1000 жителей. Последствия нехватки парковочных мест затрагивают все сферы городской жизни: от экономических потерь и экологических проблем до социальных конфликтов.

**Ключевые слова:** парковка, пробки, транспорт, оптимизация движения.

## PARKING SPACE DEFICIT: CAUSES, CONSEQUENCES AND SOLUTIONS

S.V. Dorohin<sup>1</sup>, R.V. Moroz<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,  
Voronezh, Russia

The author responsible for the correspondence: Moroz Roman Vyacheslavovich,  
roman.moroz2015@yandex.ru

**Abstract.** The paper analyzes the existing problem of parking spaces in the city of Voronezh, specifically in residential areas, industrial zones, and near shopping centers. The constant increase in the number of cars per 1,000 residents is an inevitable consequence of the growing prosperity of citizens. The lack of parking spaces affects all aspects of urban life, from economic losses and environmental issues to social conflicts.

**Keywords:** parking, traffic jams, transportation, and traffic optimization.

Стремительный рост количества автомобилей на душу населения является доминирующим фактором, определяющим нехватку парковочных мест в современных городах. С повышением уровня жизни все больше семей приобретают не один, а несколько автомобилей, что кардинально изменяет нагрузку на городскую парковочную инфраструктуру. В России уровень автомобилизации продолжает расти, достигая в крупных городах показателей свыше 400 автомобилей на тысячу жителей. Особенно острой эта проблема становится в центральных районах городов, где историческая застройка не предполагала такой интенсивности автомобильного движения. Международные исследования подтверждают глобальный характер этой проблемы.

Второй по значимости фактор дефицита парковочных мест связан с нерациональным использованием существующих площадей. Проблема заключается не только в недостатке физического пространства, но и в его неоптимальной организации.

Часто парковочные места размечены без учета современных стандартов, что приводит к потере полезной площади и снижению общей вместимости парковок [1].

Значительную роль играет культура парковки водителей. Неаккуратная парковка, когда автомобиль занимает больше места, чем необходимо, лишает других водителей возможности припарковаться. Дополнительной проблемой является использование парковочных мест не по назначению: для хранения личных вещей, стоянки неисправных автомобилей или длительного хранения транспортных средств, которые практически не эксплуатируются.

Третьим критическим фактором является несоответствие строительных норм современным реалиям автомобилизации. При проектировании новых жилых комплексов количество парковочных мест часто рассчитывается на основе устаревших данных о количестве автомобилей на семью. Современные семьи нередко владеют двумя и более автомобилями, в то время как нормативы могут предполагать наличие одного автомобиля на домохозяйство или даже меньше [1].

Проблема усугубляется тем, что изменение строительных норм происходит медленно и не всегда успевает за динамикой роста автомобилизации. В результате новые жилые комплексы сдаются с изначально недостаточным количеством парковочных мест, что создает проблемы с первых дней эксплуатации.

Для решения этой проблемы в ряде регионов уже приняты нормативные акты, обязывающие застройщиков создавать определенное количество машино-мест согласно современным установленным нормам.

Дефицит парковочных мест влечет за собой значительные экономические потери на различных уровнях. Для индивидуальных водителей время, потраченное на поиск парковки, трансформируется в прямые финансовые затраты через упущенную выгоду и дополнительный расход топлива.

Для предприятий розничной торговли и услуг отсутствие доступной парковки приводит к существенному снижению товарооборота и потере клиентов. Покупатели избегают посещения торговых центров и магазинов, если не могут найти место для парковки, что напрямую сказывается на прибыли предприятий.

Стоимость строительства решений парковочных проблем также существенна. Себестоимость наземного паркинга составляет около 45000-60000руб за квадратный метр, в то время как строительство подземного паркинга может быть в 10 раз дороже. Эти высокие затраты часто делают парковочные проекты экономически неэффективными без государственной поддержки или введения платной системы [3].

Нехватка парковочных мест становится источником серьезных социальных конфликтов в городских сообществах. Опросы показывают, что 6 из 10 водителей в течение года хотя бы один раз вступали в спор с другими водителями из-за парковочного места. Эти конфликты могут перерасти в более серьезные противостояния между различными группами городского населения [4].

Особенно острые конфликты возникают в жилых районах между постоянными жителями и временными посетителями. Жители дворов жалуются на автобусы и коммерческий транспорт, использующие дворовые территории для парковки, что лишает местных жителей возможности парковаться рядом с домом. Такие ситуации создают напряженность в сообществах и требуют вмешательства муниципальных властей [5].

Вертикальное развитие парковочной инфраструктуры является одним из наиболее эффективных способов решения проблемы дефицита парковочных мест в условиях ограниченного городского пространства. Современные многоуровневые парковки используют инновационные архитектурные решения, интегрируя функциональность с эстетическими требованиями городской среды.

Подземные парковки особенно популярны в престижных районах, где стоимость земли высока, а требования к внешнему виду городской среды строгие. Современные подземные паркинги оборудуются системами вентиляции, освещения, пожарной безопасности и могут включать дополнительные сервисы, такие как мойка автомобилей, зарядные станции для электромобилей и системы видеонаблюдения [2].

Строительство подземных парковок технически сложнее и дороже наземных альтернатив. По различным оценкам, стоимость строительства подземного уровня на 25-40% выше наземного, в зависимости от сложности грунта и необходимости гидроизоляции. Однако долгосрочные преимущества включают сохранение наземного пространства для других целей, улучшение внешнего вида городской среды и создание дополнительной недвижимости [3].

Перехватывающие парковки представляют собой эффективное решение для снижения транспортной нагрузки в центральных районах городов. Эти парковки располагаются на периферии города или у станций общественного транспорта, позволяя водителям оставить автомобиль и продолжить путь на метро, автобусе или другом виде общественного транспорта.

В Москве действует около 30 перехватывающих парковок у 16 станций метрополитена общей вместимостью свыше 21 тысячи парковочных мест. Система работает по принципу бесплатной парковки при условии совершения не менее двух поездок на метро. Это стимулирует использование общественного транспорта и снижает нагрузку на центральные районы города.

Международный опыт показывает высокую эффективность таких систем. В Бостоне перехватывающие парковки у метро составляют около 45 тысяч машино-мест, из которых 2,500 мест находится только у одной станции Alewife.

Доступность парковки оказывает критическое влияние на коммерческую эффективность торговых центров, офисных зданий и других объектов. Отсутствие адекватной парковки приводит к снижению посещаемости, уменьшению товарооборота и потере арендаторов. Исследования показывают, что якорные арендаторы могут отказаться от участия в проекте только из-за недостатка парковочных мест [3].

Стоимость строительства парковки существенно влияет на экономику проектов коммерческой недвижимости. Наземные парковки обходятся в несколько раз дешевле подземных, но требуют больше земельного пространства. Подземные парковки позволяют более эффективно использовать участок, но увеличивают стоимость проекта на 25-50%, что может негативно сказаться на финансовой привлекательности проекта [3].

Платность парковки также влияет на коммерческую эффективность. В центральных районах городов платная парковка считается необходимостью для регулирования спроса, в то время как в периферийных районах бесплатная парковка используется как конкурентное преимущество для привлечения клиентов. Многие торговые центры предлагают компромиссные решения: первые несколько часов парковки бесплатно, затем взимается плата [3].

Внедрение изменений в парковочную политику часто встречает сопротивление со стороны автомобилистов, особенно когда речь идет о введении платы за ранее бесплатную парковку. Опросы показывают, что готовность населения пользоваться платными парковками варьируется: часть водителей согласна на оплату при разумной цене (до 30 рублей в час), другие категорически против или готовы пересесть на общественный транспорт [4].

Важную роль играет информационная работа с населением, разъясняющая цели и преимущества парковочных реформ. Жители должны понимать, что введение платной парковки направлено не только на пополнение бюджета, но и на решение транспортных проблем, улучшение экологической ситуации и повышение качества городской среды.



Социальная справедливость требует учета потребностей различных категорий граждан. Необходимо предусматривать льготы для инвалидов, многодетных семей, пенсионеров и других социально уязвимых групп. Система должна обеспечивать доступность парковки для всех слоев населения, а не создавать дополнительные барьеры для менее обеспеченных граждан.

Дефицит парковочных мест представляет собой комплексную проблему современных городов, требующую системного подхода к решению. Основными причинами этого дефицита являются стремительный рост автомобилизации, неэффективное использование существующего пространства и устаревшие подходы к планированию городской инфраструктуры. Последствия проблемы затрагивают все аспекты городской жизни: от экономических потерь и экологических проблем до социальных конфликтов и снижения качества жизни.

Мировой опыт демонстрирует разнообразие успешных подходов к решению парковочных проблем. Европейские города делают ставку на развитие общественного транспорта и альтернативных видов мобильности, азиатские мегаполисы активно внедряют технологические инновации и вертикальные парковочные решения, американские города используют рыночные механизмы и динамическое ценообразование для оптимизации спроса.

Успешное решение парковочных проблем требует активного участия всех заинтересованных сторон: городских властей, бизнеса, девелоперов и граждан. Необходима разработка комплексной парковочной политики, учитывающей интересы различных групп населения и обеспечивающей социальную справедливость в доступе к парковочным ресурсам.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ причин дефицита парковочных мест. – URL: <https://gdekupitdom.ru/news/detail/analiz-prichin-defitsita-parkovochnykh-mest/> (дата обращения: 07.07.2025).
2. Жилищно-коммунальное хозяйство от А до Я. – URL: <https://siti-service.ru/zhkkh-ot-a-do-ya/item/2099-zkh.html/> (дата обращения: 07.07.2025).
3. Статьи о паркингах и парковочных системах. – URL: <https://parking-expo.ru/ru-RU/press/stati/6001.aspx> (дата обращения: 07.07.2025).
4. Мищенко, И. А. Планирование городских парковок: принципы и методы. – URL: <http://arbir.ru/miscellany/U18S839E55081> (дата обращения: 07.07.2025).
5. Нечухрай, К. В. Проблема парковок в городе Белгороде и пути ее решения / К. В. Нечухрай // Экономика. Общество. Человек : межвузовский сборник научных трудов / Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. – Белгород, 2014. – Т. 22. – С. 183–186.
6. Коржанков, В. Б. Парковки у торговых центров как часть транспортной инфраструктуры города / В. Б. Коржанков // Проблемы исследования систем и средств автомобильного транспорта : материалы Международной очно-заочной научно-технической конференции (Тула, 22–23 дек. 2016 г.). – Тула : Тульский государственный университет, 2017. – Вып. 1. – С. 283–286.
7. Каменик, Л. Л. Определение приоритетности размещения парковок с учетом районирования и социального фактора / Л. Л. Каменик, В. В. Рогозина // Неделя науки СПбПУ : материалы научной конференции с международным участием (Санкт-Петербург, 14–19 нояб. 2016 г.) / Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – Санкт-Петербург, 2016. – Ч. 1. – С. 263–266.

## REFERENCES

1. Analysis of the reasons for the shortage of parking spaces. – URL: <https://gdekupitdom.ru/news/detail/analiz-prichin-defitsita-parkovochnykh-mest> / (accessed 07.07.2025).
2. Housing and communal services from A to Z. – URL: <https://siti-service.ru/zhkkh-ot-a-do-ya/item/2099-zkh.html> / (date of access: 07.07.2025).
3. Articles about parking lots and parking systems. – URL: <https://parking-expo.ru/ru-RU/press/stati/6001.aspx> (date of reference: 07.07.2025).
4. Mishchenko, I. A. Urban parking planning: principles and methods. – URL: <http://arbir.ru/miscellany/U18S839E55081> (date of request: 07.07.2025).
5. Nechukhray, K. V. The problem of parking in the city of Belgorod and ways to solve it / K. V. Nechukhray // Economy. Society. Man : interuniversity collection of scientific papers / Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov. Belgorod, 2014, vol. 22, pp. 183-186.
6. Korzhankov, V. B. Parking at shopping malls as part of the city's transport infrastructure / V. B. Korzhankov // Problems of research of systems and means of automobile transport : proceedings of the International correspondence Scientific and Technical Conference (Tula, Dec 22-23. 2016). – Tula : Tula State University, 2017. – Issue 1. – pp. 283-286.
7. Kamenik, L. L. Prioritization of parking, taking into account zoning and social factors / L. L. Kamenik, V. V. Rogozin // SPbPU Science Week : Proceedings of a scientific conference with international participation (St. Petersburg, November 14-19, 2016) / Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. – St. Petersburg, 2016. – Part 1. – pp. 263-266.

## О ФАКТОРАХ, ВЛИЯЮЩИХ НА ОРГАНИЗАЦИЮ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В ГОРОДЕ ВОРОНЕЖЕ

Н.В. Зеликова <sup>1</sup>, И.Ю. Струкова <sup>2</sup>, Г.Н. Климова <sup>3</sup>, Ю.В. Струков <sup>4</sup>, Е.В. Шаталов <sup>5</sup>

<sup>1</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,  
г. Воронеж, Россия, zelikova-vrn@mail.ru

<sup>2</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,  
г. Воронеж, Россия, siy.vrn@mail.ru

<sup>3</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,  
г. Воронеж, Россия, klimova-galina@mail.ru

<sup>4</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,  
г. Воронеж, Россия, str-y@mail.ru

<sup>5</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,  
г. Воронеж, Россия, opbd\_vglta@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается вопрос о факторах, влияющих на организацию дорожного движения в городе Воронеже. Описана сложившаяся ситуация по организации дорожного движения на улично-дорожной сети города. Рассмотрены меры улучшения дорожной обстановки.

**Ключевые слова:** организация дорожного движения, затор, улично-дорожная сеть, дорожно-транспортные происшествия, транспортный поток, скорость движения, проезжая часть.

## ABOUT FACTORS INFLUENCING THE ORGANIZATION OF ROAD TRAFFIC IN THE CITY OF VORONEZH

N.V. Zelikova <sup>1</sup>, I.Yu. Strukova <sup>2</sup>, G.N. Klimova <sup>3</sup>, Yu.V. Strukov <sup>4</sup>, E.V. Shatalov <sup>5</sup>

<sup>1</sup> Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,  
Voronezh, Russia, zelikova-vrn@mail.ru

<sup>2</sup> Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,  
Voronezh, Russia, siy.vrn@mail.ru

<sup>3</sup> Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,  
Voronezh, Russia, klimova-galina@mail.ru

<sup>4</sup> Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,  
Voronezh, Russia, str-y@mail.ru

<sup>5</sup> Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,  
Voronezh, Russia, opbd\_vglta@mail.ru

**Abstract.** This article examines the factors influencing traffic management in Voronezh. It describes the current traffic situation on the city's road network and discusses measures to improve the traffic situation.

**Keywords:** traffic management, congestion, street and road network, road accidents, traffic flow, traffic speed, roadway.

В данной статье мы попытаемся затронуть тему организации дорожного движения в городе Воронеже. С увеличением численности жителей города и соответственно числа автомобилей, проблема с автомобильным транспортом становится более актуальной [1].

Воронеж ежедневно стоит в «пробках», особенно это заметно в «часы пик». На сегодняшний момент строительство новых развязок на проблемных участках улично-дорожной сети не помогает улучшить ситуацию. Рассмотрим факторы, которые особенно сильно оказывают влияние на сложившуюся дорожную ситуацию в нашем городе, и поговорим о возможных вариантах решения данной проблемы (рисунок 1).



Рисунок 1 – Пример ситуации на дорожной сети в городе Воронеже в «час пик»  
Figure 1 – An example of the situation on the road network in the city of Voronezh during rush hour

Развитие и увеличение количества автомобильного транспорта оказывает влияние на возникновение заторов в городских условиях.

С увеличением транспортных средств на каждого жителя Воронежа возрастает нагрузка на транспортный поток и плотность потока увеличивается. В таких условиях возникновение дорожно-транспортного происшествия на проезжей части приводит к сужению дороги и как следствие ведет к образованию затора.

В городе Воронеже на сегодняшний момент недостаточно количества развязок, которые смогли бы разгрузить основные узлы улично-дорожной сети.

На некоторых участках улично-дорожной сети города обустроили полосы для маршрутных транспортных средств. Пассажирам на маршрутных транспортных средствах стало проще передвигаться из одного пункта в другой, минуя заторы из автомобилей. Но при этом преимуществе возникла другая проблема. На участках улично-дорожной сети, где обустроили полосы для маршрутных транспортных средств, произошло уменьшение количества полос движения для автомобилей личного пользования. Из-за перераспределения транспортных средств по полосам движения на проезжей части, уровень загрузки общедоступных полос для движения значительно повысился. В случае возникновения дорожно-транспортного происшествия на таком участке, происходит перекрытие движения по одной из полос, скорость движения падает и начинает скапливаться транспорт. Что в дальнейшем приводит к возникновению затора.

Кроме этого, в городе присутствует проблема с общественным транспортом. Многие единицы подвижного состава пассажирского транспорта используются сверх разрешенного нормативного срока службы. На улично-дорожной сети города Воронежа можно встретить старые «пазики», которые давно отработали свой срок службы и не обеспечивают достаточный комфорт передвижения и безопасность пассажиров.

В городе в «часы пик» общественный пассажирский транспорт сильно перегружен, соответственно, снижается качество поездки. Пассажирам часто приходится пересаживаться на другой маршрут из-за невозможности добраться из одного пункта в другой без пересадки. Это вызывает неудобства пользования пассажирским транспортом. Необходимо производить корректировку маршрутов движения пассажирского транспорта с учетом пожеланий жителей Воронежа. Не на всех маршрутах города присутствует необходимое количество подвижного состава, что влечет за собой увеличенные интервалы движения пассажирского транспорта. Автобусы переполняются и снижают удобство пользования общественным транспортом.

Сложившаяся ситуация по использованию пассажирского транспорта заставляет население города все чаще и чаще пересаживаться на личный транспорт.

Ремонтные работы также оказывают влияние на загрузку улично-дорожной сети автомобилями, создавая временно узкие места на проезжей части для прохода транспортных средств. Так, например, в 2025 году на левом берегу идет строительство «остужевской развязки» (рисунок 2).

Основные работы по строительству ведутся на пересечении Ленинского проспекта и улицы Остужева. Это затрудняет в значительной степени движение общественного и личного транспорта. В районе строительства развязки организацию дорожного движения обеспечивают светофорные объекты.



Рисунок 2 – Строительство «Остужевской развязки» в городе  
Figure 2 – Construction of the «Ostuzhevskaya interchange» in the city



Основной причиной заторов на транспортной сети являются дорожно-транспортные происшествия (ДТП) и узкая проезжая часть на некоторых участках.

Возрастание количества дорожно-транспортных происшествий происходит обычно в зимний период при тяжелых погодных условиях. Единичные возникающие дорожно-транспортные происшествия также снижают скорость общего транспортного потока. Часто встречающаяся продолжительная ликвидация последствий столкновений транспортных средств усугубляет дорожную ситуацию и снижает пропускную способность участка улично-дорожной сети.

Нередко климатические составляющие затрудняют условия движения транспорта по городу. Наибольшее влияние на скорость транспортного потока оказывают снегопад, гололед, сильный туман и продолжительные осадки в виде дождя. Зима 2023-2024 года показала, что уборочная техника в городе не всегда справляется с уборкой выпавшего снега, особенно после продолжительных снегопадов. На дорогах города наблюдались сильные заторы, скорость транспортного потока была снижена, график движения пассажирского транспорта не соблюдался.

Экстремальные перестроения транспортных средств и игра в «шашечки» на проезжей части, обычно усугубляют дорожную ситуацию. Вследствие чего при движении транспортного потока происходят конфликтные ситуации, которые при совпадении некоторых факторов могут перерасти в дорожно-транспортные происшествия.

При рассмотрении статистики плотности потока транспортных средств на дорогах Воронежа за день, становится заметно, что количество автомобилей в часы пик резко увеличивается (обычно с 7:00 до 9:00 и с 17:00 до 19:00).

В целях повышения пропускной способности и безопасности дорожного движения на улично-дорожной сети города Воронежа необходимо принимать меры по разделению транспортных и пешеходных потоков в пространстве. Требуется увеличение количества развязок и надземных пешеходных переходов. На городской сети надо по возможности предусматривать расширение проезжей части. На некоторых участках домовая застройка это позволяет. Рекомендуем также проработать вопрос по организации движения городского пассажирского транспорта.

Данные предлагаемые меры будут способствовать улучшению ситуации с дорожным движением в городе Воронеже.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Организация дорожного движения / Г.И. Клиновштейн, М.Б. Афанасьев // Учеб. для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М: Транспорт, 2001 – 247 с.

## **REFERENCES**

1. Traffic management / G.I. Klinkstein, M.B. Afanasyev // Textbook for universities. - 5th ed., revised and enlarged. - M: Transport, 2001 - 247 p.

## АНАЛИЗ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НАВИГАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНОВ ВНУТРЕННИХ ДЕЛ

А.С. Лукьянов<sup>1</sup>, Д.С. Бошина<sup>2</sup>, Н.Е. Фомин<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Воронежский институт МВД России, г. Воронеж, Россия, las92@yandex.ru

<sup>2</sup> Воронежский институт МВД России, г. Воронеж, Россия, darya.boshina@yandex.ru

<sup>3</sup> Воронежский институт МВД России, г. Воронеж, Россия, DisFomaNick@gmail.com

**Аннотация.** В данном материале рассмотрено применение технологий и навигационной аппаратуры потребителей в деятельности ОВД. Функциональные возможности и особенности мобильных терминалов, а также перспективные направления развития.

**Ключевые слова:** навигационная аппаратура потребителей, технологии, местоположение.

## ANALYSIS OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES NAVIGATION EQUIPMENT OF CONSUMERS IN THE ACTIVITIES OF INTERNAL AFFAIRS BODIES

A.S. Lukyanov<sup>1</sup>, D.S. Boshina<sup>2</sup>, N.E. Fomin<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia,  
Voronezh, Russia, e-mail: las92@yandex.ru

<sup>2</sup> Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia,  
Voronezh, Russia, e-mail: darya.boshina@yandex.ru

<sup>3</sup> Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia,  
Voronezh, Russia, e-mail: DisFomaNick@gmail.com

**Abstract.** This article discusses the application of consumer technologies and navigation equipment in the activities of law enforcement agencies. It also explores the functionality and features of mobile terminals, as well as future development trends.

**Keywords:** consumer navigation equipment, technologies, and location.

Современная оперативно-служебная деятельность органов внутренних дел (ОВД) характеризуется высокой мобильностью и необходимостью оперативного принятия решений на основе актуальной пространственно-временной информации. Эффективное управление силами и средствами, патрулирование территории, преследование и задержание правонарушителей, обеспечение безопасности на дорогах требуют применения высокотехнологичных средств навигации и связи.

В этом контексте навигационная аппаратура потребителей (НАП), использующая сигналы глобальных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS, превратилась из вспомогательного инструмента в ключевой элемент информационно-управляющей системы ОВД. Данные устройства позволяют в режиме, близком к реальному времени, отслеживать местоположение патрульных автомобилей, координировать их действия, анализировать маршруты и оперативно реагировать на изменения обстановки, и координации действий сотрудников. Основные компоненты НАП включают: приемник

сигналов, антенну и вычислительный модуль, обрабатывающий навигационные данные [1].

Изучение данного направления является комплексный анализ инновационных технологий, реализованных в современных образцах НАП на примере комплексов «Навик Про», «Навик Про С» и действующего «АРКО-ТМ1», и оценка их влияния на эффективность решения задач, стоящих перед ОВД.

Внедрение и эксплуатация навигационной аппаратуры в ОВД строго регламентированы ведомственными нормативно-правовыми актами. основополагающими документами, определяющими порядок и требования довольно обширный, некоторыми из них являются: приказ МВД России от 18 января 2019 года №22дсп «О порядке принятия на вооружение (снабжение, в эксплуатацию) органов внутренних дел Российской Федерации образцов (комплексов, систем) специальных средств, специальной техники...», приказ МВД России от 31 декабря 2008 года №1197 «Об утверждении и использовании общих тактико-технических требований к спутниковым навигационно-мониторинговым системам для органов внутренних дел Российской Федерации...».

Принцип работы НАП основан на без запросного приема сигналов от навигационных космических аппаратов (НКА). Аппаратура *passively* принимает сигналы на частотах L1 и L2, что позволяет минимизировать ионосферные погрешности. Ключевые параметры, определяемые НАП, включают [2]:

- Геодезические координаты (широта, долгота);
- Вектор путевой скорости;
- Точное время в системной шкале.

В зависимости от точности и назначения, НАП делится на две группы: геодезической точности (погрешность до миллиметров) и навигационные устройства (погрешность до нескольких метров). Для задач ОВД *primarily* применяются навигационные устройства: персональные, автомобильные и мобильные терминалы [3].

Рассмотрим актуальные устройства и их особенности на данный момент:

1. *Навигационно-телекоммуникационный комплекс «Навик Про»* представляющий универсальный портативный комплекс, предназначенный для оснащения патрульных автомобилей и пеших нарядов.

Функциональные возможности в деятельности ОВД:

- Отслеживание местоположения и статуса всех патрульных экипажей на электронной карте в центре оперативного управления.
- Фиксация маршрутов, времени прибытия на место происшествия и его покидания. Это позволяет автоматизировать составление рапортов и анализировать эффективность использования ресурсов.
- При активации тревожной кнопки экипажем координаты и данные мгновенно передаются в центр для организации оперативной поддержки.

2. *Модернизированный комплекс «Навик Про С»* является развитием базовой модели «Навик Про» и ориентирована на решение более сложных задач.

3. *Контрольно-навигационный комплекс «АРКО-ТМ1»* представляет собой специализированное решение, сфокусированное на задачах контроля за режимом труда и отдыха водителей (в соответствии с Приказом Минтранса России № 15) и мониторинга эксплуатации транспортных средств.

Специфика применения в ОВД:

- Контроль за автотранспортом подразделений: комплекс автоматически фиксирует нарушения скоростного режима, сверхнормативный простой, несанкционированные отклонения от маршрута патрулирования, что позволяет повысить дисциплину водительского состава и оптимизировать расход ГСМ.



- Интеграция с тахографами: «АРКО-ТМ1» совместим с цифровыми тахографами, что делает его идеальным инструментом для подразделений, имеющих большой автопарк (например, подразделения тылового обеспечения).

- Формирование аналитической отчетности: Встроенное программное обеспечение генерирует детальные отчеты по пробегу, времени работы, расходу топлива, что полезно для планирования технического обслуживания и распределения ресурсов.

Для наглядности осуществим анализ возможностей комплексов представленной в таблице.

Таблица 1. Анализ навигационных комплексов

Table 1. Analysis of navigation systems

Критерий	«Навик Про»	«Навик Про С»	«АРКО-ТМ1»
Основное назначение	Базовый мониторинг и диспетчеризация	Высокоточное позиционирование, сложные операции	Контроль режима труда, эксплуатации ТС, аналитика
Точность позиционирования	5-10 м	1-2 м	5-10 м
Ключевые ГНСС	ГЛОНАСС, GPS, BeiDou	ГЛОНАСС, GPS (с диф. коррекцией)	ГЛОНАСС, GPS
Интеграция с датчиками	Базовая (тревожная кнопка)	Расширенная	Специализированная (тахограф, датчики топлива)
Основная задача в ОВД	Патрулирование, оперативное реагирование	Фиксация ДТП, координация спецопераций	Управление автопарком, контроль дисциплин
Технические особенности	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Одновременный прием и обработка сигналов ГЛОНАСС, GPS, BeiDou, что повышает точность и надежность позиционирования, особенно в условиях городской застройки.</li> <li>• Интеграция с сотовыми сетями 3G/4G (LTE) для передачи телеметрических данных.</li> <li>• Наличие интерфейсов CAN-шины для подключения к бортовой сети автомобиля и считывания служебной информации (скорость, расход топлива, обороты двигателя).</li> <li>• Возможность подключения тревожных кнопок, датчиков уровня топлива, открытия дверей и т.д.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Использование алгоритмов дифференциальной коррекции и обработки сигналов L1/L2 позволяет достигать точности определения координат до 1-2 метров, что критически важно для точного позиционирования в протоколах и при фиксации мест ДТП.</li> <li>• Улучшенная схема энергопотребления позволяет комплексу работать дольше при отключении от бортовой сети.</li> <li>• Корпус имеет улучшенную пыле- и влагозащиту (стандарт IP67), что позволяет эксплуатировать комплекс в тяжелых условиях.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Наличие интерфейсов CAN-шины для подключения к бортовой сети автомобиля и считывания служебной информации (скорость, расход топлива, обороты двигателя).</li> <li>• Возможность подключения тревожных кнопок, датчиков уровня топлива, открытия дверей и т.д.</li> </ul>

Области применения в деятельности ОВД:

- Патрульно-постовая служба (ППС): Все комплексы используются для контроля маршрутов патрулирования, оперативного перенаправления экипажей к местам совершения правонарушений, обеспечения безопасности самих сотрудников.
- Государственная инспекция безопасности дорожного движения (ГИБДД): «Навик Про С» незаменим для точной фиксации обстоятельств ДТП. «АРКО-ТМ1» может использоваться для контроля за пассажирскими и грузовыми перевозками в рамках надзорной деятельности.
- Подразделения по розыску автотранспорта: Данные с НАП, интегрированные с базами данных угнанных автомобилей, позволяют автоматически выявлять и отслеживать разыскиваемые транспортные средства.
- Обеспечение общественного порядка при проведении массовых мероприятий: позволяет осуществлять точное позиционирование и маневрирование силовых групп для быстрого реагирования на инциденты.

Несмотря на преимущества и применение данных устройств есть и недостатки:

- В удаленных и труднодоступных районах передача данных может быть затруднена.
- Необходимость защиты каналов передачи данных от несанкционированного доступа и вмешательства.
- Затраты на закупку оборудования, его интеграцию в существующие информационные системы и обучение персонала.

В связи с этим хотелось бы отметить инновационные технологии в деятельности ОВД по следующим направлениям:

1. *Искусственный интеллект (ИИ) и большие данные*, которые всё активнее внедряются в различные сферы деятельности ОВД. Например, генеративный ИИ используется для анализа преступлений и прогнозирования правонарушений. По данным исследований, к 2025 году 58% организаций планируют внедрить генеративный ИИ, что позволяет говорить о его потенциале в правоохранительной деятельности. Кроме того, микро-LLM (малые языковые модели) позволяют обрабатывать данные на локальных устройствах без необходимости подключения к облачным серверам, что особенно важно для оперативной работы.

2. *Пространственные вычисления (Spatial Computing)* позволяющие объединять дополненную реальность (AR), виртуальную реальность (VR) и интернет вещей (IoT). Данные технологии могут использоваться для моделирования оперативной обстановки, обучения сотрудников и проведения виртуальных реконструкций событий. Например, очки дополненной реальности, такие как Apple Vision Pro, позволяют накладывать цифровую информацию на физическое пространство, что может быть полезно при проведении спецопераций.

3. *Нейроморфные вычисления*, т.е. это процессоры, имитирующие работу человеческого мозга, открывающие новые возможности для обработки данных в реальном времени. Например, они могут использоваться для анализа видеопотоков с камер наблюдения или распознавания подозрительных действий. Ожидается, что к 2029 году рынок нейроморфных вычислений достигнет 5 млрд долларов, что свидетельствует о их перспективности.

Данные перспективные направления развития предоставят преимущества:

- *Интеграция с системами искусственного интеллекта (ИИ)*: использование ИИ для прогнозирования правонарушений на основе анализа паттернов движения патрульных автомобилей и криминогенной обстановки.
- Оснащение комплексов возможностью обмена данными с инфраструктурой «умного города» (светофорами, камерами) для приоритетного проезда спецтранспорта.

- *Повышение автономности*: использование альтернативных каналов связи (спутниковой связи, радиомодемов) для работы в условиях отсутствия сотовых сетей.
- *Создание единого информационного контура*: глубокая интеграция данных НАП с базами данных ОВД (розыск, правонарушения), что позволит создавать систему про активного реагирования.

Таким образом инновационные технологии, и, в частности, навигационная аппаратура потребителей, играют трансформирующую роль в деятельности органов внутренних дел. Внедрение НАП, регламентированная ведомственными приказами, позволяет перейти на качественно новый уровень управления силами и средствами, повысить оперативность реагирования и безопасность самих сотрудников.

Несмотря на существующие вызовы, в том числе в области развития инфраструктуры и институциональных условий, интеграция навигационных систем с перспективными технологиями, такими как ИИ, большие данные и IoT, открывает значительные возможности для создания интеллектуальных систем поддержки принятия решений. Дальнейшее развитие должно быть направлено на комплексную цифровизацию процессов ОВД, где навигационно-мониторинговые системы станут ядром единого информационного пространства, обеспечивающего безопасность граждан и эффективность правоохранительной деятельности.

Анализ показал, что современная НАП, такая как «Навик Про» и «Навик Про С», является не просто инструментом отслеживания местоположения, а сложными многофункциональными комплексами, значительно повышающими эффективность деятельности ОВД. Каждый из рассмотренных устройств решает свой круг задач: от базового мониторинга и диспетчеризации («Навик Про») до высокоточного документирования обстоятельств правонарушений («Навик Про С») и глубокого анализа эксплуатации служебного транспорта («АРКО-ТМ1»). Дальнейшее развитие технологий НАП, их интеграция с системами ИИ и Big Data откроет новые возможности для повышения эффективности охраны правопорядка и общественной безопасности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дьяченко Д.В. Принятие на снабжение МВД России навигационной аппаратуры ГЛОНАСС/GPS // Д. В. Дьяченко, О. В. Абрамов, А. В. Папаев / Радиотехника. 2022. Т. 86. № 9. С. 64–70.
2. Жайворонок Д.А. Анализ современных технологий систем связи, контроля и управления на автомобильном транспорте / Д.А. Жайворонок, // сборник: инновационные технологии на автомобильном транспорте. Всероссийская научно-практическая конференция. Воронеж. – 2024. – С. 18-21.
3. Лукьянова А.Н. Особенности и выбор мобильных систем фиксации, установленных на треноге / А. Н. Лукьянова, Е. А. Николаева // Международная научно-практическая конференция, посвященная 95-летию ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова. Воронеж. – 2025. – С. 113-117.

## REFERENCES

1. Dyachenko D.V. Acceptance of GLONASS/GPS Navigation Equipment for Supply to the Russian Ministry of Internal Affairs // D. V. Dyachenko, O. V. Abramov, A. V. Papaev / Radio Engineering. 2022. Vol. 86. No. 9. Pp. 64–70.
2. Zhayvoronok D.A. Analysis of Modern Technologies of Communication, Control and Management Systems in Road Transport / D.A. Zhayvoronok, // collection: Innovative Technologies in Road Transport. All-Russian Scientific and Practical Conference. Voronezh. – 2024. – P. 18-21.
3. Lukyanova A.N. Features and selection of mobile fixation systems mounted on a tripod / A. N. Lukyanova, E. A. Nikolaeva // International scientific and practical conference dedicated to the 95th anniversary of the G.F. Morozov Voronezh State Forestry University. Voronezh. – 2025. – P. 113-117.

УДК 342.9

DOI: 10.58168/MSTT2025\_95-98

## АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ФИКСАЦИИ ПРАВОНАРУШЕНИЙ В ОБЛАСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

О.В. Лебедева<sup>1</sup>, А.С. Лукьянов<sup>2</sup>, Е.Д. Утенкова<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Воронежский институт МВД России, г. Воронеж, Россия, olesya.lebedeva.05@inbox.ru

<sup>2</sup> Воронежский институт МВД России, г. Воронеж, Россия, las92@yandex.ru

<sup>3</sup> Воронежский институт МВД России, г. Воронеж, Россия, Utionkova.liza@gmail.com

**Аннотация.** В данном материале проводится комплексный анализ современных технологических решений, применяемых для фиксации правонарушений и развитие от традиционных радарных комплексов к интеллектуальным системам, основанным на компьютерном зрении, машинном обучении и интеграции данных, а также их эффективности, надежности, потенциала ошибочной фиксации и влияния на аварийность.

**Ключевые слова:** фиксация правонарушений, дорожное движение, системы фотовидеофиксации, интеллектуальные транспортные системы.

## ANALYSIS OF MODERN TECHNOLOGIES FOR RECORDING ROAD TRAFFIC OFFENCES

O.V. Lebedeva<sup>1</sup>, A.S. Lukyanov<sup>2</sup>, E.D. Utenkova<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Voronezh, Russia, e-mail: olesya.lebedeva.05@inbox.ru

<sup>2</sup> Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Voronezh, Russia, las92@yandex.ru

<sup>3</sup> Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Voronezh, Russia, Utionkova.liza@gmail.com

**Abstract.** This article provides a comprehensive analysis of modern technological solutions used for recording violations and the development from traditional radar systems to intelligent systems based on computer vision, machine learning, and data integration, as well as their effectiveness, reliability, potential for erroneous recording, and impact on accidents.

**Keywords:** recording violations, traffic, photo-video recording systems, intelligent transport systems.

Обеспечение безопасности дорожного движения (БДД) является одной из приоритетных задач государственной политики Российской Федерации (РФ). Эффективный контроль за соблюдением Правил дорожного движения (ПДД) выступает ключевым инструментом снижения аварийности и тяжести ее последствий. Современный этап характеризуется активной цифровизацией и внедрением автоматизированных технологий фиксации правонарушений. Данные системы

позволяют осуществлять непрерывный, круглосуточный мониторинг на обширных участках дорожной сети, минимизирует человеческий фактор и повышая объективность контроля. В настоящее время камеры автоматической фотовидеофиксации нарушений правил дорожного движения установлены на дорогах практически во всех субъектах РФ. За прошлый год с их помощью было вынесено более 50 миллионов постановлений по делам об административных правонарушениях, а это уже 67% от всех вынесенных постановлений за нарушение ПДД, и эти показатели растут из года в год [1].

Согласно информации Госавтоинспекции, камер фотовидеофиксации на дорогах страны насчитывает порядка 10 тысяч единиц и большая часть этих комплексов (76%) функционально ограничена контролем исключительно скоростного режима, на который приходится (89%) всех автоматически регистрируемых правонарушений. Вместе с тем наблюдается устойчивая тенденция к расширению функционала систем фиксации, т.е. камеры способны распознавать широкий спектр иных нарушений ПДД, включая:

1. Не предоставление преимущества пешеходам на пешеходных переходах.
2. Выезд на полосу встречного движения и проезд под запрещающий знак «Въезд запрещен».
3. Нарушение правил проезда регулируемых перекрестков и железнодорожных переездов.
4. Игнорирование требований знака «Движение грузовых автомобилей запрещено».

Современные технологии для фиксации правонарушений в области дорожного движения классифицируются на следующие комплексы:

- *Стационарные комплексы* («камеры-треноги», «стрелки», комплексы на опорах освещения) предназначены для постоянного контроля на аварийно-опасных участках, местах с интенсивным движением, в зонах пешеходных переходов. Современные модели, такие как «Автодория», «Кордон», способны фиксировать широкий спектр нарушений:

1. Превышение скорости (радарным или без радарного метода, например, по времени прохождения между двумя камерами).
2. Проезд на запрещающий сигнал светофора.
3. Выезд на полосу для общественного транспорта.
4. Неиспользование ремней безопасности и использование телефона за рулем.

Технологической основой этих систем являются высокочувствительные камеры (в т.ч. тепловизоры для работы в темное время суток), мощные процессоры и программное обеспечение на основе нейронных сетей. Алгоритмы компьютерного зрения позволяют автоматически распознавать государственные регистрационные знаки (ГРЗ), определять тип транспортного средства, классифицировать его поведение и выявлять нарушения с высокой точностью [3].

- *Мобильные комплексы* устанавливаются на патрульные автомобили или переносные конструкции. Их ключевое преимущество — гибкость и неожиданность для нарушителей, что создает эффект «присутствия контроля» на протяженных участках дорог.

- *Системы мониторинга на базе беспилотных летательных аппаратов (БПЛА)* представляют собой перспективную технологию для фиксации нарушений, особенно в сложных дорожных условиях (пробки, дорожно-транспортные происшествия, труднодоступные участки). Преимущества БПЛА:

1. Мобильность и обзорность: Возможность быстрого развертывания и обзора большой территории с уникального ракурса.
2. Фиксация сложных нарушений: Дроны эффективны для документирования таких нарушений, как выезд на встречную полосу, нарушение разметки на перекрестках.

3. Использование в режиме реального времени: Оператор может направлять данные с дрона наземным патрулям для оперативного реагирования.

Основными ограничениями являются ограниченное время полета, зависимость от погодных условий и необходимость решения правовых вопросов, касающихся использования воздушного пространства и защиты частной жизни.

- V2X являются перспективными технологиями, которые находятся на стадии активной разработки и пилотного внедрения, выходящие за рамки простой фиксации, основанные на коммуникации между транспортными средствами и инфраструктурой (Vehicle-to-Everything, V2X). Она позволяет транспортным средствам обмениваться данными с другими автомобилями (V2V), инфраструктурой (V2I) и пешеходами (V2P). Интеллектуальная система, получая данные от всех участников движения, может не только фиксировать факт нарушения (например, проезд на «красный»), но и прогнозировать опасную ситуацию и предотвращать ее, отправляя предупреждения водителю. Фиксация нарушения в такой системе будет основана на анализе цифрового следа, а не только на видеоданных, что повысит ее достоверность.

Таблица 1 – Анализ эффективности технологий для фиксации правонарушений  
Table 1 - Analysis of the effectiveness of technologies for recording offenses

Критерии оценки	Эффективность и преимущества	Недостатки
Объективность и масштаб	Круглосуточный и непрерывный контроль на обширных участках дорожной сети. <b>Минимизация субъективного человеческого фактора. (коррупционной деятельности).</b>	Несовершенство алгоритмов распознавания (например, ошибки в чтении ГРЗ из-за грязи, сложных погодных условий), технические сбои могут приводить к необоснованным штрафам, что требует создания эффективных механизмов обжалования.
Влияние на аварийность	Статистически значимое снижение количества ДТП и тяжести их последствий, особенно нарушений, связанных с <b>превышением скорости.</b>	Эффект «местоположения»: Водители начинают сбрасывать скорость только в непосредственной близости от известных камер, что может создавать новые очаги аварийности.
Превентивный эффект	Создание устойчивого ощущения постоянного контроля, которое дисциплинирует водителей на всем маршруте.	Технологическая «гонка вооружений»: Появление устройств-антирадаров и программ, предупреждающих о камерах, снижает превентивный эффект систем фиксации.

Несмотря на высокую доказанную эффективность в снижении аварийности, широкое внедрение систем фотовидеофиксации требует постоянного совершенствования технологий для минимизации ошибок, развития правового поля для защиты данных и поиска решений для преодоления «эффекта местоположения».

Таким образом отметим следующее:

1. Массовое внедрение камер фотовидеофиксации остается ключевым фактором снижения аварийности, обеспечивая круглосуточный объективный контроль.

2. Оснащение комплексов искусственным интеллектом позволяет автоматически выявлять сложные нарушения, выходящие за рамки превышения скорости.

3. Развитие новых технологий (БПЛА, V2X-телекоммуникации) создает основу для перехода от фиксации нарушений к комплексному анализу и прогнозированию дорожной обстановки.

4. Необходимо совершенствование нормативной базы для минимизации ошибок и защиты персональных данных, что критически важно для общественного доверия.

Представленные технологии демонстрируют, что цифровизация контроля за дорожным движением является ключевым фактором повышения безопасности на транспорте, а внедрение интеллектуальных систем фиксации не только увеличивает раскрываемость правонарушений, но и оказывает превентивное воздействие, формируя культуру законопослушного поведения среди водителей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Информационно-аналитические материалы по научно-исследовательской работе «Информационно-коммуникационная технология «Цифровая полиция» (в части навигационного обеспечения)», шифр: «ИКТ «Цифровая полиция» / Д.В. Дьяченко [и др.]. – Калуга : КФ ФКУ НПО «СТиС» МВД России, 2020. – 95 с.

2. Жайворонок, Д.А. Повышение безопасности движения транспортных средств индивидуальной мобильности и возможные пути их решения / Д.А. Жайворонок, Э. Н. Бусарин, Р. А. Кораблев, С. Э. Бусарина, С. В. Внукова, Р. А. Сподарев // сборник: Будущее науки: инновации и междисциплинарные исследования. Национальная научно-практическая конференция. Воронеж. – 2025. – С. 44-47.

3. Лукьянова, А.Н. Особенности и выбор мобильных систем фиксации, установленных на треноге / А. Н. Лукьянова, Е. А. Николаева // Международная научно-практическая конференция, посвященная 95-летию ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова. Воронеж. – 2025. – С. 113-117.

## REFERENCES

1. Information and analytical materials on the research work «Information and Communication Technology «Digital Police» (in terms of navigation support)», code: «ICT «Digital Police» / D.V. Dyachenko [et al.]. – Kaluga: Kaluga branch of the Federal State Unitary Enterprise «STiS» of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 2020. – 95 p.

2. Zhayvoronok, D. A. Improving the Safety of Individual Mobility Vehicles and Possible Solutions / D. A. Zhayvoronok, E. N. Busarin, R. A. Korablev, S. E. Busarina, S. V. Vnukova, and R. A. Spodarev // Future of Science: Innovation and Interdisciplinary Research. National Scientific and Practical Conference. Voronezh. – 2025. – P. 44-47.

3. Lukyanova, A.N. Features and selection of mobile fixation systems mounted on a tripod / A. N. Lukyanova, E. A. Nikolaeva // International scientific and practical conference dedicated to the 95th anniversary of the G.F. Morozov Voronezh State Forestry University. Voronezh. – 2025. – P. 113-117.

## ПЕРСПЕКТИВА РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ LTE НА ТРАНСПОРТЕ

А.С. Лукьянов<sup>1</sup>, В.С. Марикина<sup>2</sup>, Е.А. Сагитова<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Воронежский институт МВД России, г. Воронеж, Россия, las92@yandex.ru

<sup>2</sup> Воронежский институт МВД России, г. Воронеж, Россия, vika.marikina@inbox.ru

<sup>3</sup> Воронежский институт МВД России, г. Воронеж, Россия, e.alexandrovna@bk.ru

**Аннотация.** Материал посвящен применению LTE в интеллектуальных транспортных системах, включая V2X-коммуникации для повышения безопасности и эффективности. Несмотря на развитие 5G, LTE сохраняет актуальность благодаря зрелой инфраструктуры и широкому покрытию.

**Ключевые слова:** LTE, V2X, интеллектуальные транспортные системы, 5G, безопасность дорожного движения, телематика.

## PERSPECTIVE OF DEVELOPMENT AND APPLICATION OF LTE TECHNOLOGIES IN TRANSPORT

A.S. Lukyanov<sup>1</sup>, V.S. Marikina<sup>2</sup>, E.A. Sagitova<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia,  
Voronezh, Russia, las92@yandex.ru

<sup>2</sup> Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia,  
Voronezh, Russia, vika.marikina@inbox.ru

<sup>3</sup> Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia,  
Voronezh, Russia, e.alexandrovna@bk.ru

**Abstract.** The article addresses the use of LTE in intelligent transportation systems, including V2X communications to enhance safety and efficiency. Despite the emergence of 5G, LTE remains relevant due to its mature infrastructure and wide coverage.

**Keywords:** LTE, V2X, intelligent transportation systems, 5G, road safety, telematics.

В условиях стремительной цифровизации транспортной инфраструктуры технологии мобильной связи играют значимую роль в обеспечении безопасности, эффективности и автоматизации транспортных систем. Среди них особое место занимает технология Long Term Evolution (LTE), разработанная в рамках стандарта 3GPP и изначально ориентированная на высокоскоростную передачу данных в мобильных сетях [1]. Однако с течением времени LTE вышла за рамки телекоммуникационного сектора и стала ключевым элементом в построении современных интеллектуальных транспортных систем (ИТС).

Одним из ключевых применений LTE в транспортной сфере являются обеспечение надёжной и низко латентной связи между транспортными средствами и инфраструктурой (V2I-Vehicle-to-Infrastructure), а также между самими транспортными средствами (V2V-Vehicle-to-Vehicle). Такие коммуникации лежат в основе концепции Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS), где обмен данными в реальном времени позволяет предотвращать ДТП, оптимизировать транспортные потоки и повышать общую безопасность дорожного движения. В отличие от традиционных систем, основанных на радиочастотных протоколах (например, DSRC-Dedicated Short-Range



Communications), LTE предлагает более широкий охват, лучшую масштабируемость и интеграцию с существующей телекоммуникационной инфраструктурой.

Особое значение приобретает специализированная версия LTE-V2X (Vehicle-to-Everything), стандартизированная в рамках 3GPP Release 14 и последующих версий [2]. Данная технология поддерживает как прямую связь между устройствами (PC5-интерфейс), так и передачу данных через сеть (Uu-интерфейс), что обеспечивает гибкость в различных сценариях эксплуатации. Например, в условиях плотной городской застройки или на скоростных магистралях LTE-V2X позволяет передавать информацию о дорожной обстановке, аварийных ситуациях, состоянии дорожного покрытия и даже о погодных условиях с минимальными задержками.

Перспективы развития LTE на транспорте тесно связаны с переходом к технологиям пятого поколения (5G). Хотя 5G NR (new Radio) предлагает значительно более низкие задержки и более высокую пропускную способность, полное развёртывание 5G-сетей требует значительных инвестиций и времени [3]. В этой связи LTE, особенно в её эволюционных формах (например, LTE Advanced Pro), остаётся жизнеспособным решением на переходный период и даже в долгосрочной перспективе для определённых классов приложений. Более того, архитектура 5G предусматривает возможность совместного использования с LTE (non-standalone mode), что делает последнюю неотъемлемой частью гибридных сетей будущего.

Ниже представлена таблица, иллюстрирующая сравнение основных характеристик LTE и 5G в контексте транспортных приложений:

Таблица 1 – Основные характеристики LTE и 5G

Table 1 – Main features of LTE and 5G

<i>Параметры</i>	<i>LTE (LTE-V2X)</i>	<i>5G NR</i>
Максимальная пропускная способность	До 1 Гбит/с	До 10-20 Гбит/с
Задержка	10-50 мс	<1 мс (в режиме URLLC)
Поддержка V2X	Да (через LTE-V2X)	Да (через 5G NR-V2X)
Покрытие	Широкое	Ограниченное
Энергопотребление	Умеренное	Оптимизировано для IoT-устройств
Готовность к развёртыванию	Высокая	Требует модернизации сети

Важным направлением применения LTE на транспорте является также поддержка телематических систем, видеонаблюдения, дистанционного мониторинга состояния подвижного состава и инфраструктуры. Например, на железнодорожном транспорте LTE используется для передачи данных между поездами и диспетчерскими центрами, обеспечивая реализацию систем автоматического управления движением (CBTC-Communications-Based Train Control). Аналогичные решения внедряются в городском общественном транспорте для мониторинга маршрутов, контроля загруженности и обеспечения связи с пассажирами.

Таким образом, несмотря на появление более передовых технологий, LTE сохраняет свою актуальность в транспортной отрасли благодаря зрелой экосистеме, широкому покрытию и способности удовлетворять требования большинства современных ИТС-приложений. В ближайшие годы ожидается дальнейшая интеграция LTE с системами искусственного интеллекта, что позволит создавать более адаптивные и автономные транспортные решения. При этом важно учитывать необходимость стандартизации и обеспечения кибербезопасности, поскольку рост зависимости от

беспроводных коммуникаций повышает уязвимость транспортных систем к внешним воздействиям.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 31380-2009. Глобальные навигационные спутниковые системы. Аппаратура потребителей. Классификация. – Введ. 2011-10-01. – Москва : Стандартиформ, 2012. – 3 с.
2. Жайворонок Д.А. Организация радиосвязи с удаленными подвижными наземными объектами // Д. А. Жайворонок, С. В. Дорохин, В. А. Иванников / Моделирование, оптимизация и информационные технологии – Воронеж : 2024. Т. 12. № 4. 110-115 с.
3. Информационно-аналитические материалы по научно-исследовательской работе «Информационно-коммуникационная технология «Цифровая полиция» (в части навигационного обеспечения)», шифр: «ИКТ «Цифровая полиция» / Д.В. Дьяченко [и др.]. – Калуга : КФ ФКУ НПО «СТиС» МВД России, 2020. – 95 с.

## REFERENCES

1. GOST 31380-2009. Global Navigation Satellite Systems. Consumer Equipment. Classification. – Introduced. 2011-10-01. – Moscow: Standartinform, 2012. – 3 p.
2. Zhayvoronok D.A. Organization of radio communication with remote mobile ground objects // D. A. Zhayvoronok, S. V. Dorokhin, V. A. Ivannikov / Modeling, optimization and information technologies – Voronezh : 2024. V. 12. No. 4. 110-115 p.
3. Information and analytical materials on the research project «Information and Communication Technology 'Digital Police' (in terms of navigation support)», code: «ICT 'Digital Police'» / D.V. Dyachenko [et al.]. – Kaluga: Kaluga Branch of the Federal State Unitary Enterprise «STiS» of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 2020. – 95 p.

## БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ НА СКОРОСТНЫХ АВТОМАГИСТРАЛЯХ И ТРАССАХ

К. О. Румянцева <sup>1</sup>, А. С. Семькина <sup>2</sup>, Л. В. Орлов <sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова,  
г. Белгород, Россия

<sup>1</sup> rumiantseva.kam@yandex.ru

<sup>2</sup> allasemykina1@gmail.com

<sup>3</sup> 89087820480@mail.ru

**Аннотация.** Безопасность движения на скоростных автомагистралях – ключевая задача современной транспортной системы. В данной статье рассматриваются факторы, влияющие на безопасность автомагистралей, анализируются причины дорожно-транспортных происшествий, предлагаются меры по снижению аварийности и повышению безопасности участников дорожного движения.

**Ключевые слова:** факторы риска, анализ статистики ДТП, безопасность движения на скоростных автомагистралях, интеграция передовых технологий.

## SAFETY OF TRAFFIC ON HIGH-SPEED HIGHWAYS AND TRACKS

K. O. Rumyantseva <sup>1</sup>, A. S. Semykina <sup>2</sup>, L. V. Orlov <sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia

<sup>1</sup> rumiantseva.kam@yandex.ru

<sup>2</sup> allasemykina1@gmail.com

<sup>3</sup> 89087820480@mail.ru

**Abstract.** Traffic safety on high-speed highways is a key task of the modern transport system. This article examines the factors affecting the safety of highways, analyzes the causes of traffic accidents, and proposes measures to reduce accidents and improve the safety of road users.

**Keywords:** risk factors, analysis of traffic accident statistics, traffic safety on high-speed highways, integration of advanced technologies.

Скоростные автомагистрали и трассы предназначены для обеспечения быстрого и непрерывного движения транспортных средств на значительные расстояния. Однако высокая скорость, характерная для таких дорог, увеличивает риск возникновения дорожно-транспортных происшествий, а их последствия зачастую оказываются более тяжелыми по сравнению с городскими дорогами. Поэтому безопасность движения на автомагистралях требует системного подхода, включающего технические, организационные и образовательные меры [1].

Статистические данные об авариях на дорогах демонстрируют двойственный характер скоростных магистралей: с одной стороны, они характеризуются повышенной аварийностью, а с другой – повышенной тяжестью последствий ДТП. Согласно информации, предоставленной Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ), в мире каждые 24 секунды регистрируется дорожно-транспортное происшествие, зачастую с участием транспортных средств, двигающихся на высокой скорости. В России,

например, в 2022 году зафиксировано свыше 150 тысяч ДТП, причем существенная доля из них произошла именно на скоростных автотрассах [2]. Исследования выявляют ряд основных факторов, способствующих возникновению аварийных ситуаций на таких магистралях:

- превышение установленных скоростных ограничений;
- несоблюдение безопасной дистанции и нарушение правил обгона;
- игнорирование правил смены полосы движения;
- утомленное состояние и недостаточная внимательность водителей;
- неисправности в техническом состоянии транспортных средств;
- сложные метеорологические условия.

Безопасность на дороге определяется множеством факторов, подразделяющихся на несколько ключевых групп:

1. Инфраструктура дорог. Состояние покрытия: плохое дорожное покрытие с неровностями и выбоинами увеличивает вероятность потери контроля над транспортным средством и негативно сказывается на работе подвески.

2. Конфигурация трассы. Параметры поворотов, спусков и подъемов, ширина полос и наличие обочин должны соответствовать стандартам, чтобы гарантировать безопасное передвижение на больших скоростях.

3. Освещение. Хорошее освещение в темное время суток и в условиях плохой видимости необходимо для своевременного обнаружения препятствий и других участников движения.

4. Дорожная разметка и знаки. Четкая разметка и своевременно установленные дорожные знаки позволяют заблаговременно предупредить водителя об опасных участках дороги.

5. Барьерные ограждения. Разделительные барьеры и ограждения по краям дороги минимизируют съезд транспортных средств с проезжей части и уменьшают риск лобовых столкновений.

6. Системы управления трафиком. Интеллектуальные системы, камеры и информационные табло, позволяют оперативно реагировать на изменение дорожной обстановки, и информировать водителя о скоростных ограничениях.

7. Транспортные средства. Технические характеристики. Исправная работа тормозной системы, рулевого управления, шин и осветительных приборов является обязательным условием безопасной эксплуатации.

8. Тип ТС. Размеры, динамические характеристики и устойчивость различных типов автомобилей легковые, грузовые, автобусы оказывают разное влияние на безопасность.

9. Активные и пассивные системы безопасности. Наличие ABS, ESP, подушек безопасности и ремней безопасности существенно уменьшают тяжесть последствий аварий.

10. Человеческий фактор. Водительские навыки и опыт. Умение правильно оценивать дорожную обстановку, прогнозировать развитие событий и принимать верные решения на скорости.

11. Состояние водителя. Усталость, стресс, алкогольное опьянение и отвлечение внимания являются основными причинами аварий.

12. Соблюдение ПДД. Превышение скорости, несоблюдение дистанции и игнорирование знаков ведут к ДТП.

13. Адаптация к условиям. Способность водителя подстраиваться под погодные условия, время суток и интенсивность движения.

14. Факторы окружающей среды. Погодные условия. Время суток. Дождь, снег, гололед и туман ухудшают видимость и сцепление с дорогой. Ночь снижает видимость и затрудняет оценку расстояний.

Перспективные направления в области повышения безопасности движения:

1. Развитие интеллектуальных транспортных систем (ИТС):

Системы мониторинга и анализа трафика в реальном времени: Использование камер, датчиков, данных от автомобилей для прогнозирования пробок, аварий и других опасных ситуаций [3].

Динамическое информирование водителей. Предоставление актуальной информации о состоянии дороги, погодных условиях, ограничениях скорости и других факторах через электронные табло, мобильные приложения и бортовые системы автомобилей.

Автоматизированные системы управления скоростью и дистанцией. Разработка и внедрение систем, которые могут автоматически регулировать скорость и дистанцию транспортных средств в зависимости от дорожной обстановки.

Системы связи «автомобиль-автомобиль» (V2V) и «автомобиль-инфраструктура» (V2I). Обеспечение обмена информацией между транспортными средствами и дорожной инфраструктурой для предотвращения столкновений и оптимизации транспортных потоков.

2. Совершенствование инфраструктуры:

Применение новых материалов для дорожного покрытия. Разработка покрытий с улучшенными сцепными свойствами, шумопоглощением и долговечностью [4].

Интеграция «умной» дорожной разметки и знаков. Применение разметки и знаков, способных менять свои характеристики в зависимости от условий (например, яркость, цвет) или передавать информацию.

Создание «умных» перекрестков и развязок. Оптимизация транспортных потоков на сложных участках с помощью ИТС [5].

Улучшение систем освещения. Применение энергоэффективных и адаптивных систем освещения.

3. Развитие технологий транспортных средств.

Расширение функционала систем активной и пассивной безопасности. Внедрение систем экстренного торможения, контроля полосы движения, обнаружения слепых зон, систем предотвращения столкновений.

Развитие технологий автономного вождения. Постепенное внедрение систем автономного вождения, обеспечивающих более высокий уровень безопасности за счет исключения человеческого фактора.

Повышение стандартов безопасности для грузовых транспортных средств. Разработка специальных решений для обеспечения устойчивости и управляемости тяжелых грузовиков на высоких скоростях [6].

4. Совершенствование нормативно-правовой базы и правоприменения.

Ужесточение контроля за соблюдением скоростного режима и правил дорожного движения. Применение современных систем фото- и видеофиксации нарушений.

Введение более строгих требований к техническому состоянию транспортных средств. Регулярные и тщательные технические осмотры.

Программы повышения квалификации водителей. Регулярное обучение и переподготовка водителей, особенно тех, кто эксплуатирует транспорт на скоростных магистралях.

Образование и пропаганда безопасности дорожного движения.

Информационные кампании. Повышение осведомленности общественности о рисках, связанных с движением на высоких скоростях, и важности соблюдения правил.

Обучение безопасным навыкам вождения. Включение в программы автошкол специализированных курсов по вождению на скоростных трассах.

Психологическая подготовка водителей: Работа с водителями для формирования ответственного отношения к безопасности и профилактики агрессивного поведения.

Обеспечение безопасности на высокоскоростных дорогах и магистралях – сложная задача, нуждающаяся в неустанном контроле и всестороннем рассмотрении. Эффективное ее достижение возможно лишь при согласованном взаимодействии правительства, дорожных организаций, автомобильных компаний, исследовательских институтов и, разумеется, всех, кто пользуется дорогами.

Внедрение современных технологий, модернизация дорожной сети, повышение квалификации водителей и неукоснительное следование правилам – важнейшие элементы в создании системы, направленной на снижение вероятности происшествий и повышение безопасности на скоростных трассах [7].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев, Ю. Н., Петров, В. А., Сидоров, И. И. Безопасность дорожного движения: учебник для вузов. – М.: Транспорт, 2015. – 320 с.
2. Баранов, А. С., Иванова, Н. В. Анализ причин дорожно-транспортных происшествий на скоростных магистралях // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2018. – № 2(53). – С. 112-118.
3. Захаров, В. В., Кузнецов, П. П. Интеллектуальные транспортные системы и безопасность дорожного движения // Автоматика на транспорте. – 2019. – Т. 5. – № 3. – С. 321-330.
4. Иванов, И. П. Влияние дорожной инфраструктуры на безопасность движения на автомагистралях // Строительство и реконструкция автомобильных дорог. – 2020. – № 4(32). – С. 56-62.
5. Румянцева, К. О. Автоматическое регулирование светофоров: современное состояние, проблемы и перспективы развития / К. О. Румянцева, А. С. Семькина // Современные системы и технологии на транспорте: проблемы и перспективы : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова, Воронеж, 24–25 апреля 2025 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2025. – С. 130-134.
6. Петрова, Д. В. Повышение безопасной эксплуатации автомобилей / Д. В. Петрова, О. В. Головин, С. О. Андреева // Сборник докладов Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова : Сборник докладов конференции, Белгород, 29–30 мая 2025 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2025. – С. 185-190.
7. Семькина, А.С. Повышение безопасности дорожного движения / А.С. Семькина, Д.А. Сердюк, М. Артыков, Е.А. Цой, М.В. Петрук // Механики XXI века. 2025. № 24. С. 188-192.

## REFERENCES

1. Andreev, Yu. N., Petrov, V. A., Sidorov, I. I. Road Safety: A Textbook for Universities. Moscow: Transport, 2015, 320 p.
2. Baranov, A. S., Ivanova, N. V. Analysis of the Causes of Road Accidents on Highways // Bulletin of the Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI). 2018, No. 2(53), pp. 112-118.

3. Zakharov, V. V., Kuznetsov, P. P. Intelligent Transport Systems and Road Safety // Automation in Transport. 2019, Vol. 5, No. 3, pp. 321-330.
4. Ivanov, I. P. The Impact of Road Infrastructure on Traffic Safety on Motorways // Construction and Reconstruction of Highways. - 2020. - No. 4 (32). - P. 56-62.
5. Rumyantseva, K. O. Automatic traffic light control: current status, problems, and development prospects / K. O. Rumyantseva, A. S. Semykina // Modern systems and technologies in transport: problems and prospects: Proceedings of the International scientific and practical conference dedicated to the 95th anniversary of VSTU named after G. F. Morozov, Voronezh, April 24–25, 2025. – Voronezh: Voronezh State Forest Engineering University named after G. F. Morozov, 2025. – P. 130–134.
6. Petrova, D. V. Improving the Safe Operation of Vehicles / D. V. Petrova, O. V. Golovin, S. O. Andreeva // Collection of reports of the International Scientific and Technical Conference of Young Scientists of BSTU named after V.G. Shukhov: Collection of conference reports, Belgorod, May 29-30, 2025. - Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2025. - P. 185-190.
7. Semykina, A. S. Improving road safety / A. S. Semykina, D. A. Serdyuk, M. Artykov, E. A. Tsoi, M. V. Petruk // Mechanics of the XXI century. 2025. No. 24. P. 188–192.

## АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ПЕРЕКРЕСТКЕ ЛЕНИНСКИЙ ПРОСПЕКТ – УЛИЦА БРУСИЛОВА В ГОРОДЕ ВОРОНЕЖЕ

И.Ю. Струкова <sup>1</sup>, В.А. Зеликов <sup>2</sup>, Г.А. Денисов <sup>3</sup>, В.В. Стасюк <sup>4</sup>, М.Н. Казачек <sup>5</sup>  
<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,  
г. Воронеж, Россия,  
<sup>1</sup> siy.vrn@mail.ru,  
<sup>2</sup> zelikov-vrn@mail.ru,  
<sup>3</sup> dga.vrn@mail.ru,  
<sup>4</sup> stasiuk.volodya@yandex.ru,  
<sup>5</sup> mnk.vrn@yandex.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается анализ организации дорожного движения на перекрестке Ленинский проспект – улица Брусилова. Сделано описание организации дорожного движения на перекрестке. Представлены сложившиеся недостатки в организации дорожного движения.

**Ключевые слова:** перекресток, автомобильный транспорт, организация дорожного движения, полосы движения, светофорные объекты, дорожные знаки, участники дорожного движения.

## TRAFFIC MANAGEMENT ANALYSIS AT THE INTERSECTION BETWEEN LENINSKY PROSPECT AND BRUSILOVA STREET IN VORONEZH

I.Yu. Strukova <sup>1</sup>, V.A. Zelikov <sup>2</sup>, G.A. Denisov <sup>3</sup>, V.V. Stasyuk <sup>4</sup>, M.N. Kazachek <sup>5</sup>  
<sup>1</sup> Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,  
Voronezh, Russia,  
<sup>1</sup> siy.vrn@mail.ru  
<sup>2</sup> zelikov-vrn@mail.ru  
<sup>3</sup> dga.vrn@mail.ru  
<sup>4</sup> stasiuk.volodya@yandex.ru  
<sup>5</sup> mnk.vrn@yandex.ru

**Abstract.** This article analyzes traffic management at the intersection of Leninsky Prospekt and Brusilov Street. A description of traffic management at the intersection is provided, along with existing deficiencies in traffic management.

**Keywords:** intersection, motor transport, traffic management, traffic lanes, traffic lights, road signs, road users.

Город Воронеж населяет большое количество людей, что является следствием большого количества автомобильного транспорта на дорогах. Плотность транспортного потока достаточно велика, перекрестки в городе перегружены. В данной статье рассмотрим один из центральных перекрестков левого берега – это пересечение Ленинского проспекта и улицы Брусилова (рисунок 1).

Ленинский проспект – это центральная улица левого берега, которая соединяет все районы (Отрожка, Машмет, ВАИ). Улица Брусилова ведет к Чернавскому мосту, то есть к правому берегу. Из оживленности движения на пересечении дорог присутствует



по три полосы движения в каждую сторону, кроме поворота к Димитровскому кольцу на улице Брусилова. На этом участке сделано по две полосы движения в каждую сторону.

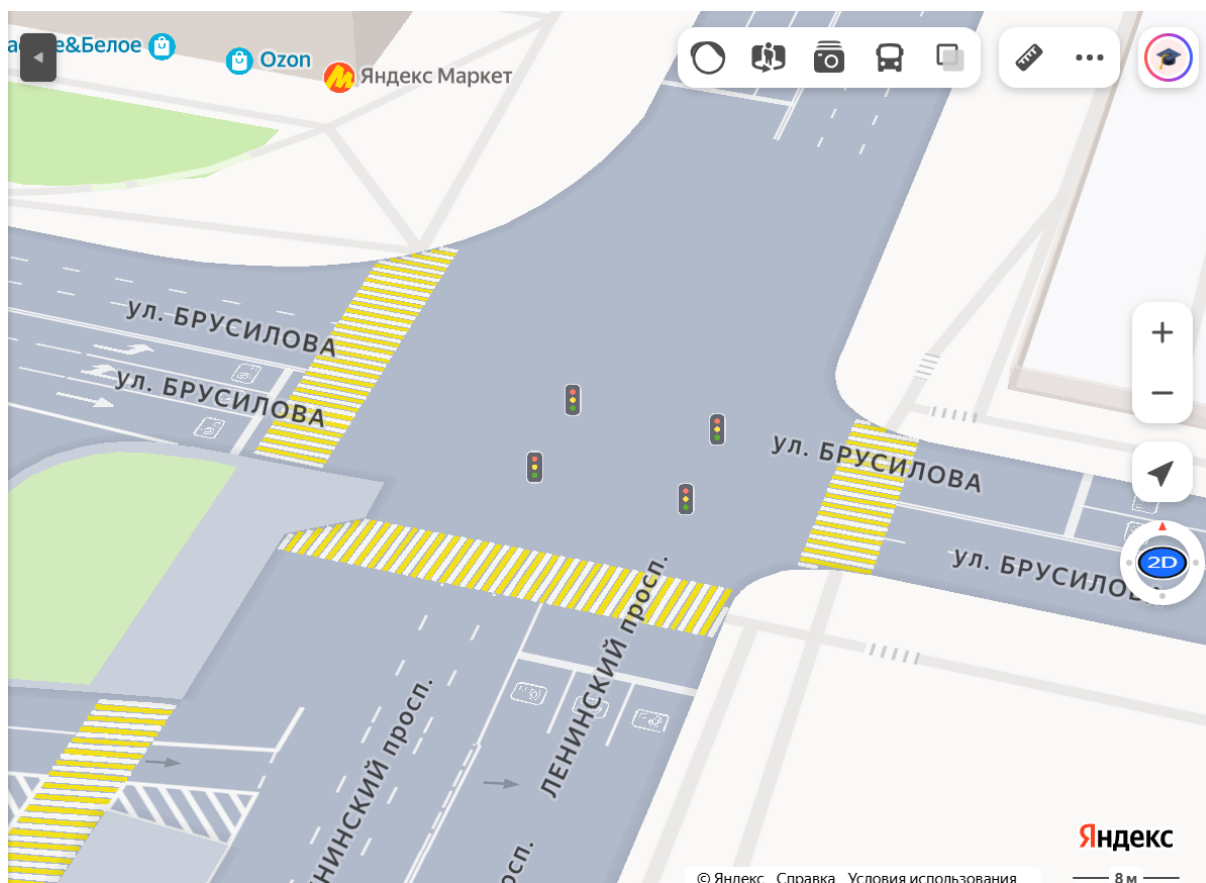


Рисунок 1 – Снимок карты перекрестка  
Figure 1 – Photo of the intersection map

Перекресток является регулируемым. На нем присутствуют четыре светофорных объекта с отсчетом времени, установлены знаки приоритета (главная дорога, уступи дорогу), запрещающие (ограничение массы), предписывающие (направления движения по полосам) и информационные (указатели направлений). Нанесена горизонтальная разметка (разделительные линии и стоп-линии). С трех сторон от перекрестка расположены пешеходные переходы. Для обеспечения удобства участников дорожного движения следует добавить на рассматриваемый участок островки безопасности, что снизит риск ДТП.

Видимость для водителей транспортных средств хорошая, но следует обновить дорожную разметку и некоторые дорожные знаки, что повысит уровень безопасности участников дорожного движения.

В темное время суток недостаточное освещение тоже может привести к ужасным последствиям. На перекрестке для контроля соблюдения правил дорожного движения установлены камеры. Современные технологии, несомненно, оказывают положительное влияние на движение автомобильного транспорта по городу. Возможно, в будущем совершенствования в технологической отрасли улучшат ситуацию на дорогах.

При рассмотрении объема транспортного потока можно заметить его повышение в часы пик (7:00 – 9:00 и 18:00 – 20:00). По утрам большое количество машин движется по Ленинскому проспекту в сторону Чернавского моста, а по вечерам основной поток

движется в обратном направлении (с правого на левый берег). Число автомобилей, передвигающихся только по левому берегу, значительно меньше.

На рассматриваемом участке, кроме личного автомобильного транспорта, передвигается и общественный транспорт, что также увеличивает загруженность перекрестка. С трех сторон вблизи от него расположены остановки: Серова, Ильича, Брусилова. Пересечение указанных улиц входит в номера маршрутов следующего общественного транспорта: 22, 14, 52, 1кс, 1кв, 20, 36, 56, 65, 6, 8, 90, 32, 60, 72, 16, 97, 21 и некоторые другие. Для ускорения передвижения автомобильного транспорта необходимо выделить автобусную полосу, что поможет снизить вероятность образования заторов.

Важно подумать о пешеходах. Нужно построить подземный или надземный пешеходный переход и сделать отдельную дорожку для велосипедистов и самокатчиков.

На перекрестке Ленинский проспект – Брусилова часто происходят ДТП. Так, например, опрокинулся автомобиль скорой медицинской помощи 15 июня 2024 года в вечернее время.

Конечно же, безопасность участников дорожного движения на любом участке дороги зависит от их знания и соблюдения правил дорожного движения [1]. Пешеходы должны переходить дорогу в предусмотренном для этого месте на нужный сигнал светофорного объекта. Водители должны быть внимательны за рулем и тоже не нарушать ПДД.

В итоге нашей статьи хочется сказать, что перекресток Ленинский проспект – улица Брусилова – это один из основных перекрестков на левом берегу города Воронежа. Он оказывает важное влияние на транспортную ситуацию. Данное пересечение дорог находится в достаточно хорошем состоянии, но требует некоторых доработок.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Организация дорожного движения / Г.И. Клиновштейн, М.Б. Афанасьев // Учеб. для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М: Транспорт, 2001 – 247 с.

## **REFERENCES**

1. Traffic management / G.I. Klinkstein, M.B. Afanasyev // Textbook for universities. - 5th ed., revised and enlarged. - M: Transport, 2001 - 247 p.

## ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ПЕРЕКРЕСТКЕ ПУТЕМ КОМПЛЕКСНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ И ВНЕДРЕНИЯ СВЕТОФОРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

А.А. Штепа <sup>1</sup>, Н.В. Зеликова <sup>2</sup>, Ю.В. Щедрина <sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, г. Воронеж,  
Россия, alexei\_shtepa@mail.ru

<sup>3</sup> ООО ИзыскДорПроект

**Аннотация.** Статья посвящена повышению безопасности на нерегулируемом перекрестке в г. Калуге. На примере пересечения автодороги «Анненки – Силикатный» и ул. Изумрудная разработан проект, центральным элементом которого является установка светофора с расчетом его параметров. Реализация предложенных мер повысит безопасность и пропускную способность перекрестка.

**Ключевые слова.** безопасность дорожного движения, организация дорожного движения, светофорное регулирование, перекресток, интенсивность движения, технические средства организации движения.

## IMPROVING ROAD TRAFFIC SAFETY AT AN INTERSECTION THROUGH COMPREHENSIVE TRAFFIC MANAGEMENT AND THE INTRODUCTION OF TRAFFIC LIGHT CONTROL

A.A. Shtepa <sup>1</sup>, N.V. Zelikova <sup>2</sup>, Yu.V. Shchedrina <sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh,  
Russia, alexei\_shtepa@mail.ru

<sup>3</sup> IskDorProekt LLC

**Abstract.** The article addresses improving safety at an uncontrolled intersection in Kaluga. A project has been developed for the intersection of the «Annensky – Silikatny» road and Izumrudnaya Street, the central element of which is the installation of a traffic light, with its parameters calculated. The implementation of the proposed measures will enhance the intersection's safety and traffic capacity.

**Keywords:** road safety, traffic management, traffic light control, intersection, traffic intensity, traffic control devices.

В этих условиях особую актуальность приобретают вопросы повышения безопасности на ключевых элементах улично-дорожной сети, каковыми являются перекрестки. Именно здесь происходит наибольшее количество конфликтов между транспортными и пешеходными потоками. Одним из наиболее эффективных инструментов решения этой задачи является внедрение светофорного регулирования и других инженерных мер организации дорожного движения. Современный подход подразумевает не просто установку светофоров, а комплексное проектирование, включающее архитектурно-планировочные мероприятия и применение интеллектуальных технических средств, основанное на детальном анализе текущих и прогнозных транспортных параметров. [1]

Внедрение автоматизированных систем управления дорожным движением позволяет перейти от пассивного регулирования к активному и адаптивному. Такие системы не только фиксируют нарушения, но и в реальном времени оптимизируют транспортные потоки, повышая пропускную способность магистралей и снижая вероятность заторов. В данном контексте представляет значительный практический интерес разработка научно обоснованных проектных решений для конкретного проблемного объекта. [2] Целью настоящего исследования является разработка комплекса мероприятий по организации дорожного движения на перекрестке автодороги «Анненки – Силикатный» и ул. Изумрудная (г. Калуга), направленных на кардинальное повышение безопасности для всех категорий участников движения, оптимизацию пропускной способности узла и обеспечение полного соответствия проектных решений актуальным законодательным и нормативно-техническим требованиям Российской Федерации.

Проектируемый перекресток характеризуется рядом проблем, обуславливающих повышенный риск аварийных ситуаций и дорожно-транспортных происшествий, а именно:

- нерегулируемое движение: перекресток является нерегулируемым, что приводит к конфликтным ситуациям между транспортными средствами, движущимися по главной (автодорога «Анненки – Силикатный») и второстепенной (ул. Изумрудная) дорогам, а также между транспортными и пешеходными потоками;

- недостаточная инфраструктура: ширина проезжей части автодороги составляет 8 м. (2 полосы), ул. Изумрудной – 4,5 м (2 полосы). Тротуары для движения пешеходов отсутствуют на большей части подходов к перекрестку. Горизонтальная дорожная разметка отсутствует, стационарное электрическое освещение не оборудовано.

- рост транспортной нагрузки: Строительство жилого комплекса «Белые росы» в непосредственной близости от перекрестка приводит к значительному увеличению интенсивности движения, особенно в часы «пик».

Для оценки транспортной нагрузки было проведено исследование интенсивности движения транспортных и пешеходных потоков в течение недели с фиксацией данных в утренний (8:00-10:00), дневной (12:00-14:00) и вечерний (17:00-19:00) часы «пик». Данные обрабатывались с приведением интенсивности к легковому автомобилю с использованием коэффициентов [5]. Направления движения пронумерованы (Рисунок 1).

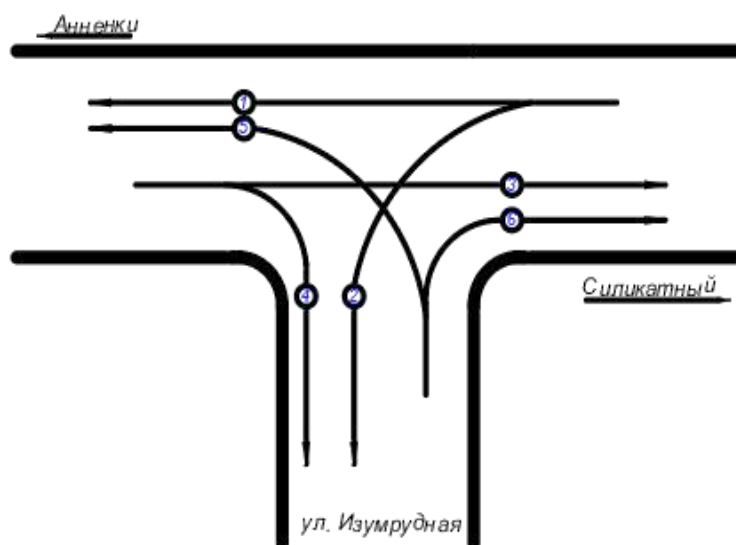


Рисунок 1 – Схема перекрестка и направления движения  
Figure 1 – Intersection diagram and traffic directions

Наибольшая интенсивность наблюдается в направлении 1 (мкр. Анненки) и направления 3 (ул. Изумрудная). В утренний час «пик» максимальная приведенная интенсивность в 15-минутном интервале достигала 186 ед./ч (направление 1, 08:15-08:30), а в вечерний – 208 ед./ч (направление 1, 17:15-17:30). Пешеходные потоки также имеют выраженные пики в периоды начала и окончания рабочего дня. Несмотря на отсутствие дорожно-транспортных происшествий с пострадавшими за последний год, субъективная оценка и анализ конфликтных точек указывают на высокий потенциальный риск.

Для устранения выявленных проблем при выполнении научно-исследовательской работы разработан комплекс проектных решений, включающий архитектурно-планировочные и организационные мероприятия.

Архитектурно-планировочные мероприятия заключаются в уширении проезжей части автодороги «Анненки – Силикатный» на подходах к перекрестку для организации двух полос движения в каждом направлении (уширение въезда-выезда от ЖК «Белые росы» до трех полос), обустройство разворотного кольца для маршрутных транспортных средств с организацией остановочного пункта, обустройство пешеходных переходов: шириной 4,0 м. через автодорогу «Анненки – Силикатный» с подходами и тротуарами.

Организационные мероприятия заключаются в введении светофорного регулирования.

Расчет параметров светофорного объекта выполнен на основе прогнозируемой интенсивности с учетом ввода в эксплуатацию ЖК «Белые росы». Анализ потоков показал целесообразность организации двухфазного регулирования. В основе расчета длительности цикла регулирования лежат данные о промежуточных тактах и расчетных фазовых коэффициентах.

1. Расчет потоков насыщения  $M_{Hi}$  и фазовых коэффициентов  $\gamma_i$  по каждому направлению

$$M_H = 1250\gamma_n,$$

где  $\gamma_n$  – коэффициент многополосности.

При наличии нескольких полос движения в каждом направлении рекомендуется принимать в расчетах коэффициент многополосности  $\gamma_n$ , учитывающий взаимные помехи транспортных средств в смежных полосах. Коэффициент многополосности принимается равным для одной полосы движения – 1, двух полос – 1,85, трех полос – 2,55 и четырех полос – 3,05.

– в направлении мкр. Анненки:  $M_{H1} = 1250 \cdot 1,85 = 2313$  ед./ч.;

– в направлении ул. Гурьянова:  $M_{H2} = 1250 \cdot 1,85 = 2313$  ед./ч.;

– со стороны ул. Изумрудная:  $M_{H3} = 1250$  ед./ч.;

– со стороны ЖК «Белые Росы»:  $M_{H4} = 1250 \cdot 1,85 = 2313$  ед./ч.

Принимая во внимание существующую интенсивность транспортных и пешеходных потоков, а также перспективную интенсивность, движение на перекрестке может быть организовано в две фазы.

Расчет фазовых коэффициентов

$$Y_n = \frac{N}{M_n},$$

где  $Y_n$  – фазовый коэффициент данного направления,  $N$  – интенсивность движения транспортных потоков, ед./ч.,  $M_n$  – поток насыщения в данном направлении данной фазы регулирования, ед./ч.

– в направлении мкр. Анненки:  $Y_1 = \frac{1137}{2313} = 0,49$ ;

– в направлении ул. Гурьянова:  $Y_2 = \frac{981}{2313} = 0,42$ ;

– со стороны ул. Изумрудная:  $Y_3 = \frac{88}{1250} = 0,07$ ;

– со стороны жилого комплекса Белые Росы:  $Y_4 = \frac{600}{2313} = 0,26$ .

В качестве расчетных для каждой фазы выбираем наибольшие фазовые коэффициенты

$$Y_1 = 0,49 \text{ и } Y_4 = 0,26.$$

Для расчета цикла регулирования принимаем сумму наибольших фазовых коэффициентов:  $Y = 0,75$ .

Определяем промежуточные такты:

$$T_{\pi} = V_a / (7,2 \cdot aT) + 3,6(li + la) / V_a,$$

где  $T_{\pi}$  – длительность промежуточного такта в данной фазе регулирования, сек.,  $V_a$  – средняя скорость движения транспортных средств при движении на подходе к перекрестку и в зоне перекрестка без торможения (с ходу), км/ч. Для расчета принимается средняя скорость движения транспортных средств в прямом направлении 50 км/ч.,  $aT$  – среднее замедление транспортного средства при включении запрещающего сигнала, 4 м/с.,  $li$  – расстояние от стоп-линии до самой дальней конфликтной точки, м.,  $la$  – длина транспортного средства, наиболее часто встречающегося в потоке, 5 м.

$$T_{\pi 1} = 50 / (7,2 \cdot 4) + 3,6(30 + 5) / 50 = 4 \text{ сек.},$$

$$T_{\pi 2} = 50 / (7,2 \cdot 4) + 3,6(25 + 5) / 50 = 3 \text{ сек.}$$

Определяем продолжительность промежуточного такта для пешеходов, в течение которого они должны вернуться на тротуар, откуда начали движение.

Вычисляем сумму промежуточных тактов –  $T_{\pi}$ , необходимую для расчета цикла регулирования состоящим из 3 фаз.

$$T_{\pi} = 4 + 3 + 4 = 11 \text{ сек.}$$

Определяем длительность цикла регулирования:

$$T_{\text{ц}} = (1,5 \cdot T_{\pi} + 5) / (1 - Y),$$

где  $T_{\pi}$  – сумма промежуточных тактов, сек.,  $Y$  – сумма наибольших фазовых коэффициентов.

$$T_{\text{ц}} = \frac{1,5 \cdot 11 + 5}{1 - 0,75} = 112 \text{ сек.}$$

Расчет основных тактов:

$$t_{oi} = ((T_{\text{ц}} - T_{\pi}) \cdot \gamma_i) / Y$$

где  $T_{\text{ц}}$  – цикл регулирования, сек.,  $T_{\pi}$  – сумма промежуточных тактов, сек.,  $\gamma_i$  – фазовый коэффициент соответствующего направления,  $Y$  – сумма наибольших фазовых коэффициентов.

$$t_{o1} = 84 \text{ сек. и } t_{o2} = 20 \text{ сек.}$$

Определяем время необходимое для перехода пешеходами проезжей части во 2-ой фазе:

$$T_{\text{пш}} = 5 + \frac{B_{\text{пш}}}{V_{\text{пш}}} = 14,2 \approx 15 \text{ сек.}$$

Определяем степень насыщения направления движения в период максимальных значений интенсивности транспортных потоков:

$$X_n = N_n \cdot T_{\text{ц}} / (M_{Hn} \cdot t_{oi})$$

По главной дороге:  $X_1 = 0,83$

По второстепенной:  $X_2 = 0,88$

Заторовая ситуация возникает при  $X_n > 1$ . Так же стоит отметить, что на перекрестке на данный момент отсутствуют малонасыщенные направления и осуществляется их равномерная загрузка.

Расчетный режим светофорного регулирования является оптимальным.

Что касается технического оснащения, то для реализации проекта предусмотрено применение современных технических средств организации движения, а именно светодиодные транспортные (Т.1.2) и пешеходные (П.1.2) светофоры с табло обратного отсчета, с плоским герметичным корпусом и степенью защиты IP65 (установка на прямостоечных и консольных опорах с дублированием над проезжей частью), а также 24 дорожных знака (приоритета, запрещающие, предписывающие, особых предписаний) типоразмера II (изготовленные из оцинкованной стали со световозвращающей пленкой типа А) и горизонтальная разметка по ГОСТ Р 51256-2018 (наносимая с использованием разметочной машины (с высокими показателями яркости и световозвращения).

Проведенное исследование и разработка проектных решений для перекрестка автодороги «Анненки – Силикатный» и ул. Изумрудная демонстрируют высокую эффективность системного подхода к вопросам обеспечения безопасности дорожного движения. Разработанный комплекс мероприятий является не просто набором разрозненных мер, а целостной, научно обоснованной системой, в которой архитектурно-планировочные и организационные решения взаимно дополняют и усиливают друг друга.

Ключевым результатом работы стало обоснование перехода от нерегулируемого режима движения к светофорному регулированию с оптимизированным циклом длительностью 112 секунд. Проведенные расчеты, включающие определение потоков насыщения, фазовых коэффициентов и промежуточных тактов, подтвердили, что предложенная двухфазная схема позволяет эффективно разделить конфликтующие транспортные и пешеходные потоки. Значения степени насыщения направлений, не превышающие критического порога, свидетельствуют об отсутствии риска возникновения заторов в периоды максимальной нагрузки, что подтверждает оптимальность выбранного режима работы светофорного объекта.

Не менее важным элементом проекта являются архитектурно-планировочные мероприятия: уширение проезжей части, обустройство тротуаров и безопасных пешеходных переходов. Эти меры создают физическую основу для безопасного движения, ликвидируя существующие инфраструктурные дефициты. Техническое оснащение проекта современными средствами организации движения – светофорами с табло обратного отсчета, знаками с высококачественной световозвращающей пленкой и долговечной дорожной разметкой – обеспечивает необходимый уровень информированности участников движения и надежности системы в целом. [1]

Реализация данного проекта позволит достичь значительного социально-экономического эффекта. Прежде всего, это проявляется в существенном повышении уровня безопасности для водителей и пешеходов за счет минимизации конфликтных ситуаций. Во-вторых, оптимизация транспортных потоков приведет к сокращению задержек, снижению расхода топлива и уменьшению вредных выбросов. В-третьих, предлагаемые решения обладают значительным адаптационным потенциалом, позволяя перекрестку функционировать в условиях дальнейшего роста транспортной нагрузки от строящегося жилого комплекса «Белые росы».

Таким образом, представленный комплекс проектных решений является эффективным инструментом повышения безопасности и пропускной способности сложного перекрестка. Разработанная методология и полученные результаты могут быть успешно применены при проектировании и реконструкции других аналогичных объектов улично-дорожной сети, что определяет практическую ценность и перспективность проведенного исследования. Для дальнейшего повышения эффективности управления в будущем рассматривается возможность интеграции данного светофорного объекта в общегородскую автоматизированную систему управления дорожным движением.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петров, В. В. Технические средства организации дорожного движения : учебник / В. В. Петров, Е. В. Парсаев ; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)». – Омск : Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2021. – 220 с.

2. Сподарев, С. Р. Мероприятия по повышению пропускной способности дорог, в том числе посредством устранения условий, способствующих созданию помех для дорожного движения или создающих угрозу его безопасности / С. Р. Сподарев, В. В. Васильев, Р. А. Сподарев [и др.] // Развитие современной науки и технологий транспортных процессов : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 15 января 2024 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, 2024. – С. 80-83.

## REFERENCES

1. Petrov, V. V. Technical Means of Traffic Management : Textbook / V. V. Petrov, E. V. Parsaev ; Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Siberian State Automobile and Highway University (SibADI)». – Omsk : Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), 2021. – 220 p.

2. Spodarev, S. R. Measures to Improve Road Capacity, Including by Eliminating Conditions Conducive to Traffic Disruptions or Posing a Threat to its Safety / S. R. Spodarev, V. V. Vasiliev, R. A. Spodarev [et al.] // Development of Modern Science and Technologies of Transport Processes : Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Voronezh, January 15, 2024. – Voronezh: Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, 2024. – pp. 80-83.



## ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ В ДИАГНОСТИКЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ

Е. А. Ануфриев <sup>1</sup>, С. А. Евтюков <sup>2</sup>, К. А. Ануфриев <sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup> Санкт-Петербургский архитектурно-строительный университет,  
г. Санкт-Петербург, Россия  
<sup>1</sup> eanufriev521@yandex.ru  
<sup>2</sup> s.a.evt@mail.ru  
<sup>3</sup> k.anufry@ yandex.ru

**Аннотация.** Статья посвящена исследованию инновационных способов диагностики автомобильных дорог с использованием систем мобильного лазерного сканирования. Предложена конструкция двухосного гироскопического стабилизатора, повышающего точность сканирования за счет компенсации вибраций транспортного средства.

**Ключевые слова:** безопасность дорожного движения, диагностика автомобильных дорог, мобильное лазерное сканирование, лидар, гироскопический стабилизатор.

## INNOVATIVE SOLUTIONS IN ROAD DIAGNOSTICS TO IMPROVE TRAFFIC SAFETY

E. A. Anufriev <sup>1</sup>, S. A. Yevtyukov <sup>2</sup>, Vol. A. Anufriev <sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup> Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,  
Saint Petersburg, Russia  
<sup>1</sup> eanufriev521@yandex.ru  
<sup>2</sup> s.a.evt@mail.ru  
<sup>3</sup> k.anufry@ yandex.ru

**Abstract.** The article is devoted to the study of innovative ways of diagnosing highways using mobile laser scanning systems. The design of a biaxial gyroscopic stabilizer is proposed, which increases the accuracy of scanning by compensating for vehicle vibrations.

**Keywords:** road safety, highway diagnostics, mobile laser scanning, lidar, gyroscopic stabilizer.

Современные технологии 3D-сканирования занимают важное место в системе обеспечения безопасности и эффективности транспортной инфраструктуры. Согласно статистическим данным Росстата за 2024 год, протяженность автомобильных дорог общего пользования местного значения достигает 64,1% (1 015 281,2 км) от общей длины дорожной сети Российской Федерации [1]. При этом 48% автомобильных дорог местного значения не соответствуют установленным нормативам качества покрытия [2].

Анализ динамики показывает тенденцию сокращения доли автомобильных дорог общего пользования местного значения, не отвечающих нормативным требованиям (Рисунок 1). За период с 2019 по 2024 год значение данного показателя уменьшилось на 5,4%. Однако его абсолютное значение остается значительным, что обуславливает рост дорожно-транспортных происшествий и увеличивает эксплуатационные расходы на содержание и ремонт дорожного полотна.

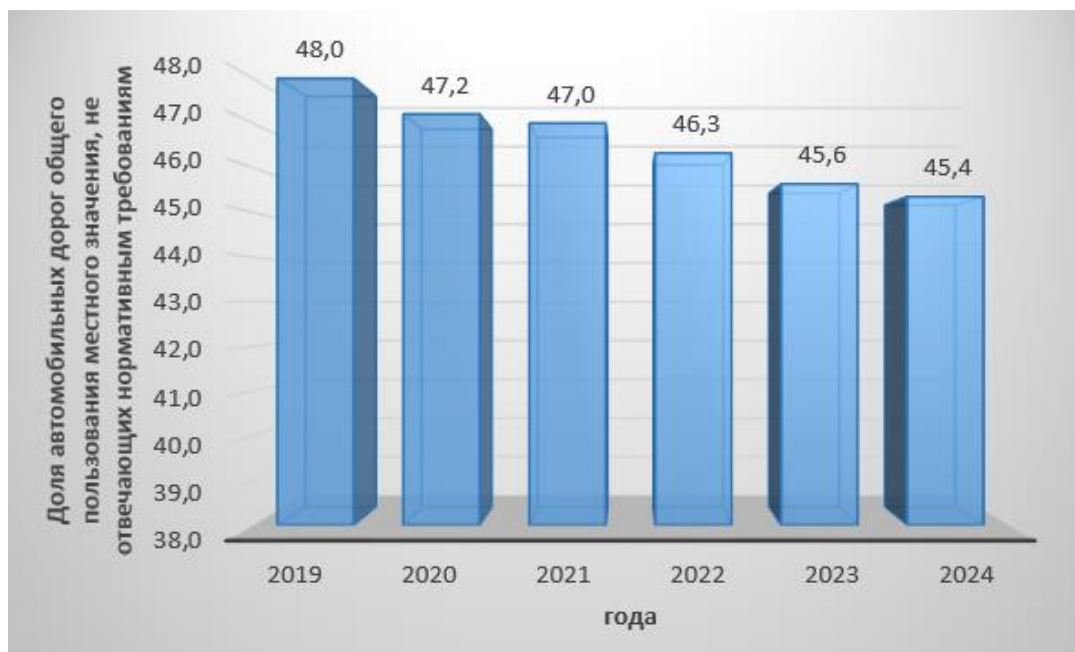


Рисунок 1 – Гистограмма снижения доли автомобильных дорог общего пользования местного значения, не отвечающих нормативным требованиям

Figure 1 – Histogram of the decrease in the share of public roads of local significance that do not meet regulatory requirements

Внедрение мобильных дорожных лабораторий, оборудованных лазерными сканирующими системами, способствует существенному повышению качества мониторинга и диагностики состояния дорожного покрытия и инфраструктуры [3]. Существующие методики сканирования чувствительны к внешним механическим воздействиям, что отрицательно сказывается на точности получаемых данных. В представленном исследовании предлагается двухосная гироскопическая стабилизирующая система для лазерного сканирующего устройства мобильной лаборатории, применение которой обеспечит повышение точности и качества сканирования.

Современные мобильные лаборатории представляют собой комплексные измерительные платформы на автомобильной базе, предназначенные для всесторонней оценки транспортно-эксплуатационных характеристик автомобильных дорог [4]. Эти системы регистрируют комплекс параметров, включая пройденное расстояние, геопространственные координаты, геометрические показатели дорожного полотна, а также осуществляют панорамную видеофиксацию, анализ микропрофиля, выявление дефектов покрытия, измерение колеечности, мониторинг интенсивности транспортного потока и определение коэффициента сцепления.

Значительным потенциалом для повышения эффективности диагностических работ обладает интеграция систем лазерного сканирования, обеспечивающих принципиально новый уровень точности контроля состояния дорожной инфраструктуры [5]. Конструктивно такую систему объединяют высокоскоростное лазерное сканирование, фотофиксация HDR-изображений высокого разрешения, спутниковое позиционирование и инерциальные измерительные блоки.

Мировой опыт демонстрирует эффективность решений компании Trimble Germany GmbH, среди которых система мобильного сканирования Trimble MX9 (Рисунок 2) показала наилучшие результаты при диагностике автомобильных дорог [6]. Конфигурация системы включает 4 камеры высокого разрешения и два лидара, установленных на специализированной платформе [7]. Интегрированная глобальная

навигационная спутниковая система с инерциальной системой гарантируют непрерывную пространственную привязку данных с точностью позиционирования 2 см (СКП в плане) при сохранении устойчивого спутникового сигнала. Точность угловой ориентации составляет  $0,005^\circ$  по крену/тангажу и  $0,015^\circ$  по курсу. При рабочей частоте сканирования 300 кГц система обеспечивает максимальную дистанцию измерения 150 м в режиме высокой точности, однако при переходе к минимально допустимому уровню точности дальности сканирования увеличивается до 420 м, что предполагает компромисс между производительностью и детализацией данных.



Рисунок 2 – Система мобильного сканирования Trimble MX9  
Figure 2 – Trimble MX9 Mobile Scanning System

Альтернативную разработку представляет китайская компания Shanghai Huase Navigation Technology LTD с системой мобильного сканирования Alpha 3D (Рисунок 3), отличающейся улучшенными метрологическими характеристиками. Данная конфигурация объединяет 6 камер и одно сканирующее устройство (лидар), обеспечивая точность позиционирования 1 см (СКП в плане) при сохранении аналогичных угловых параметров ориентации [8]. Однако использование единственного сканирующего устройства ограничивает скорость сканирования до 250 измерений в секунду, что вдвое ниже показателей системы Trimble MX9.



Рисунок 3 – Система мобильного сканирования Alpha 3D  
Figure 3 – Alpha 3D Mobile Scanning System

Критическим фактором, влияющим на точность мобильного сканирования, остаются внешние воздействия, включая температурные колебания, вибрационные нагрузки и электромагнитные помехи. Наибольшее негативное влияние оказывают низкочастотные колебания кузова транспортного средства, для компенсации которых в исследовании предложена оригинальная конструкция двухосного гироскопического стабилизатора.

Экспериментальная установка на базе автомобиля Ford Transit с измерительным комплексом КП-514 RDT (Рисунок 4) представляет собой проект предложенного технического решения. Согласно проекту, на крыше автомобиля установлен лидар механического типа с круговым обзором 360°. Он крепится через опорную стойку на гиростабилизированной платформе. Двухосная система стабилизации с моментными двигателями компенсирует колебания от неровностей дороги, что позволяет сохранить стабильность сканирования во время движения.

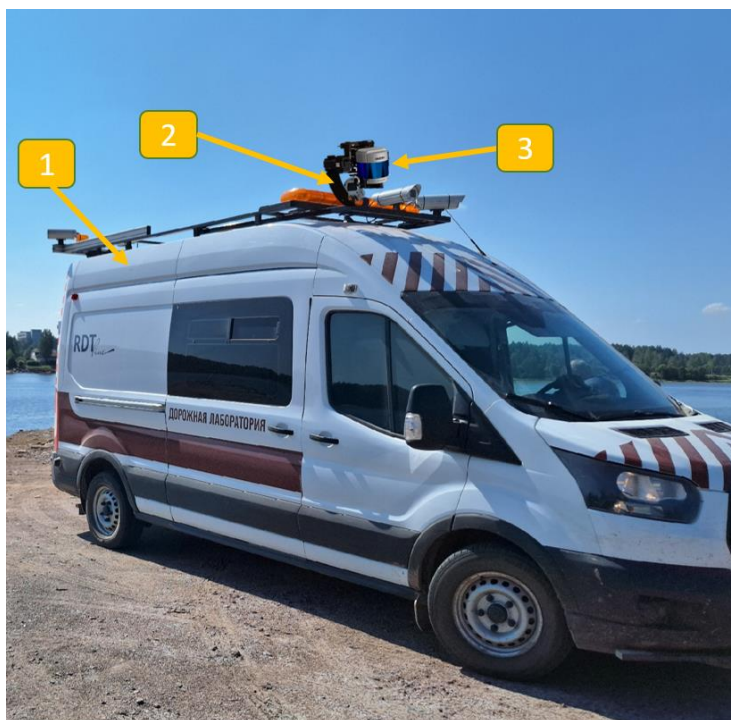


Рисунок 4 – Передвижная лаборатория с системой 3D-сканирования: 1- базовая лаборатория с измерительным комплексом КП-514 RDT; 2 – двухосный гироскопический стабилизатор; 3 – лидар

Figure 4 – Mobile laboratory with 3D scanning system: 1- basic laboratory with KP-514 RDT measuring system; 2 – biaxial gyroscopic stabilizer; 3 – lidar

Проведенное исследование продемонстрировало эффективность применения систем мобильного лазерного сканирования для диагностики автомобильных дорог. Предложенная конструкция двухосного гироскопического стабилизатора позволяет существенно повысить точность сканирования за счет компенсации вибрационных воздействий при движении транспортного средства.

Внедрение разработанного решения направлено на повышения безопасности дорожного движения через совершенствование способов диагностики дорожной инфраструктуры. Использование стабилизированной системы сканирования обеспечит своевременное выявление дефектов покрытия и элементов обустройства дорог, что позволит предотвращать возникновение аварийно-опасных участков.

Таким образом, применение инновационных диагностических систем с гиостабилизацией сканирующего оборудования представляет собой перспективное направление для снижения аварийности и обеспечения безопасных условий дорожного движения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доля автомобильных дорог общего пользования местного значения, не отвечающих (отвечающих) нормативным требованиям URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport> (дата обращения 01.10.2025).
2. Протяженность автомобильных дорог общего пользования по субъект Российской Федерации за 2024 год URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport> (дата обращения: 01.10.2025).
3. Евтюков, С. А. Лазерное сканирование при строительстве и ремонте автомобильных дорог / С. А. Евтюков, Н. В. Перевалов // Вестник гражданских инженеров. – 2018. – № 4(69). – С. 132-137. – DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-4-132-137. – EDN YLHKTJ.
4. Цаль, А. Ю. Совершенствование технических решений мониторинга автомобильных дорог и транспортных сооружений / А. Ю. Цаль, Н. А. Ермошин, П. О. Середа // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 1(48). – С. 139. – EDN XSMQFV.
5. Жидяев, С. С. Комплексное исследование точности и надежности различных методов наземного лазерного сканирования и обработки полученных данных / С. С. Жидяев, П. В. Молоков // Вестник МИИГАиК : Сборник научных статей 79-ой научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых в рамках Международной Студенческой Недели Науки СНН-2024, Москва, 08–12 апреля 2024 года. – Москва: Московский государственный университет геодезии и картографии, 2024. – С. 115-127. – EDN UMDWUW.
6. Гребенюк, Е. А. Мобильное лазерное сканирование городских дорог: оценка трудозатрат для получения качественного результата / Е. А. Гребенюк, С. И. Ротков // Труды Международной конференции по компьютерной графике и зрению «Графикон». – 2023. – № 33. – С. 701-709. – DOI 10.20948/graphicon-2023-701-709. – EDN PDBIXB.
7. Trimble MX9 решение для мобильного картографирования URL:<https://www.metricageo.ru/upload/iblock/2d1/2d1fa762e136960acc6c78de8a27d7a1.pdf?ysclid=m9qx3g0r9q582893663> (дата обращения 01.10.2025).
8. Alpha 3D Система мобильного картографирования URL: [https://ngeos.ru/wp-content/uploads/2021/10/prince\\_alph3d\\_rus-1.pdf](https://ngeos.ru/wp-content/uploads/2021/10/prince_alph3d_rus-1.pdf) (дата обращения 01.10.2025).

## REFERENCES

1. Dolia avtomobil'nykh dorog obshchego pol'zovaniia mestnogo znachenii, ne otvechaiushchikh (otvechaiushchikh) normativnym trebovaniiam [Elektronnyi resurs]. URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport> (data obrashcheniia 01.10.2025).
2. Protiazhennost' avtomobil'nykh dorog obshchego pol'zovaniia po subekt Rossiiskoi Federatsii za 2024 god [Elektronnyi resurs]. URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport> (data obrashcheniia: 01.10.2025).
3. Evtiukov, S. A. Lazernoe skanirovanie pri stroitel'stve i remonte avtomobil'nykh dorog / S. A. Evtiukov, N. V. Perevalov // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2018. no 4(69). pp. 132-137. DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-4-132-137. EDN YLHKTJ.
4. TSaI', A. IU. Sovershenstvovanie tekhnicheskikh reshenii monitoringa avtomobil'nykh dorog i transportnykh sooruzhenii / A. IU. TSaI', N. A. Ermoshin, P. O. Sereda // Inzhenernyi vestnik Dona. 2018. no 1(48). pp. 139. EDN XSMQFV.
5. ZHidiaev, S. S. Kompleksnoe issledovanie tochnosti i nadezhnosti razlichnykh metodov nazemnogo lazernogo skanirovaniia i obrabotki poluchennykh dannykh / S. S. ZHidiaev, P. V. Molokov // Vestnik MIIGAiK : Sbornik nauchnykh statei 79-oi nauchno-tekhnikeskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh v ramkakh Mezhdunarodnoi Studencheskoi Nedeli Nauki SNN-2024, Moskva, 08–12 apreliia 2024 goda. Moskva: Moskovskii gosudarstvennyi universitet geodezii i kartografii, 2024. pp. 115-127. EDN UMDWUW.

6. Grebeniuk, E. A. Mobil'noe lazernoe skanirovanie gorodskikh dorog: otsenka trudozatat dlia polucheniiia kachestvennogo rezul'tata / E. A. Grebeniuk, S. I. Rotkov // Trudy Mezhdunarodnoi konferentsii po komp'iuternoi grafike i zreniiu «Grafikon». 2023. no 33. pp. 701-709. DOI 10.20948/graphicon-2023-701-709. EDN PDBIXB.

7. Trimble MX9 reshenie dlia mobil'nogo kartografirovaniia [Elektronnyi resurs]. URL:<https://www.metricageo.ru/upload/iblock/2d1/2d1fa762e136960acc6c78de8a27d7a1.pdf?ysclid=m9qx3g0r9q582893663> (data obrashcheniia 01.10.2025).

8. Alpha 3D Sistema mobil'nogo kartografirovaniia [Elektronnyi resurs]. URL: [https://ngeos.ru/wp-content/uploads/2021/10/prince\\_alpah3d\\_rus-1.pdf](https://ngeos.ru/wp-content/uploads/2021/10/prince_alpah3d_rus-1.pdf) (data obrashcheniia 01.10.2025).

## ПАТРУЛИРОВАНИЕ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ БПЛА: ОБНАРУЖЕНИЕ И ОТСЛЕЖИВАНИЕ ДОРОГ

А. Н. Лукьянова  
Воронежский институт МВД России, г. Воронеж, Россия,  
annaburavcova@yandex.ru

**Аннотация.** В последнее время появляются преимущества в применении интеллектуальных подходов, таких как сочетание искусственного интеллекта и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). В этой статье для определения дорожного полотна используются два метода: k-ближайших соседей и преобразование Хафа, способные обнаруживать наземные транспортные средства на аэрофотоснимках.

**Ключевые слова:** беспилотные летательные аппараты, дорожно-транспортное происшествие, беспроводная связь, системы обнаружения БПЛА.

## PATROLLED ROAD TRAFFIC WITH UAV: DETECTION AND TRACKING OF ROADS

A. N. Lukyanova  
Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Voronezh, Russia,  
annaburavcova@yandex.ru

**Abstract.** Recently, there have been advantages in the application of intelligent approaches, such as the combination of artificial intelligence and unmanned aerial vehicles (UAVs). This article uses two methods, k-nearest neighbor and Hough transform, to detect roadway in aerial images.

**Keywords:** Unmanned Aerial Vehicles, Traffic Accident, wireless communication, UAV detection systems

БПЛА открыли новые возможности для решения множества проблем. Эти технологические разработки используются не только в военных и коммерческих целях. Одной из сфер их применения является обеспечение безопасности. БПЛА способны ускорить проведение расследований и анализов, поскольку их камеры могут охватывать гораздо большую территорию, и они не сталкиваются с проблемой дорожного движения.

Разрабатываются инновационные проекты, касаемые методов расследования дорожно-транспортных происшествий с использованием небольших и лёгких дронов, оснащённых камерами высокого разрешения. Нынешний метод расследования дорожно-транспортных происшествий требует участия большого количества полицейских, многочасового перекрытия дорог и замедления движения [1]. Следовательно, необходимо более эффективное и быстрое решение. Цель состоит в том, чтобы в течение нескольких минут заснять место происшествия с воздуха, а затем, собрав необходимые данные, эффективно восстановить картину происшествия. Это позволяет избежать длительного перекрытия дорог и сократить время, необходимое для проведения измерений. Содержание отчетов с такими изображениями гораздо полезнее для реконструкции места происшествия, чем схемы, составленные сотрудником, ответственным за инцидент.



Беспилотники передают на наземную станцию видеосигналы (рисунок 1). Удаленное управление подвесом камеры (поворот, стабилизация) и удаленное управление зумом камеры делают передаваемую информацию более точной.

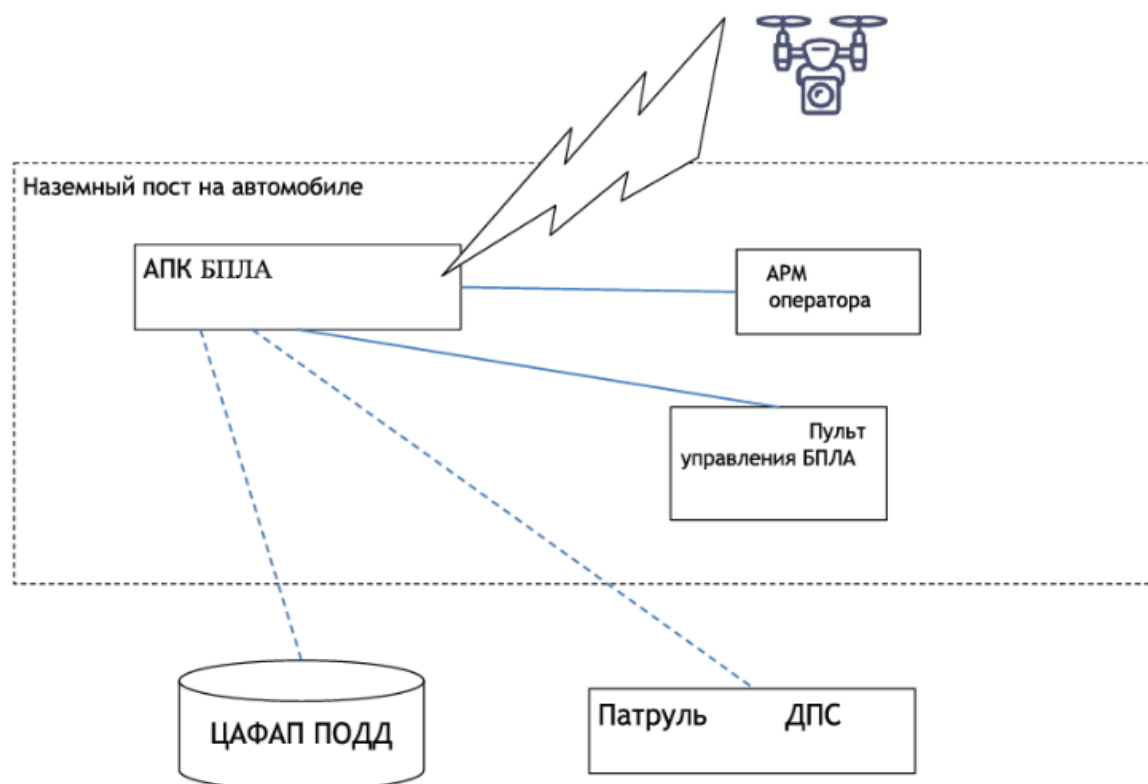


Рисунок 1 – Структурная схема комплекса БПЛА  
Figure 1 – Structural diagram of the UAV complex

В экспериментальной части для этапов оценки, тестирования и валидации использовались анонимные аэрофотоснимки дорог, то есть для этого подхода к моделированию не создавалась специальная база данных изображений. В предлагаемом исследовании сначала определяется участок дороги. Для определения дороги используются два метода: k-ближайших соседей и преобразование Хафа. Для формирования цикла принятия решений сопоставляются оба результата. Если они совпадают, то для сравнения используются пространственные и спектральные схемы. После обнаружения участка дороги, классификация типа дороги осуществляется с помощью нечёткого подхода. Полученное изображение используется для определения маршрута, по которому БПЛА должен лететь в заданном направлении. На этапе моделирования анонимный видеопоток, ранее записанный БПЛА, используется для оценки производительности базовой системы на разных дорогах.

Беспилотные летательные аппараты назначаются для выполнения миссии, иногда вручную, управляемой наземной станцией, или частично/полностью автоматически, с помощью разработанного программного обеспечения. В задаче дорожного патрулирования, чтобы достичь пункта назначения, беспилотные летательные аппараты должны правильно следовать по маршруту, пролетая над определенным участком дороги [2]. Для выполнения этой миссии БПЛА должен изначально определить дорогу и лететь в предполагаемом направлении. В противном случае БПЛА может сбиться с пути, если окажется на повороте. БПЛА должен учитывать последующие факторы, чтобы добраться до пункта назначения:



- Камера БПЛА должна делать последовательные снимки во время полёта над дорогой.
- Изображения должны быть очищены от шумов.
- В поле зрения БПЛА должна быть обнаружена дорога.
- Для проверки правильности определения дороги рекомендуется использовать валидацию.
- Этап пространственного и спектрального слияния.
- Следует классифицировать тип дороги.
- Система должна обеспечивать правильное время для оценки нового угла направления, прежде чем беспилотник достигнет следующего пункта назначения.
- Систему следует протестировать с использованием анонимных видеозаписей, включающих различные ситуации и типы дорог (например, интенсивное движение, извилистая или прямая дорога).
- Маршрут должен быть выбран с учетом результатов моделирования.

На первом этапе БПЛА должен сделать аэрофотоснимки вдоль дороги, на которой сфокусирована камера. С учетом скорости полета БПЛА оценивается период времени между двумя последовательными снимками. Таким образом, избыточных вычислений, приводящих к потере времени, можно избежать. Нужно помнить, что назначенные изображения — это не реальные изображения в мировой системе координат, а изображения в плоскости. Следовательно, проективная геометрия играет важную роль в данной схеме. Кроме того, анонимные изображения с БПЛА могут быть искажены из-за возможных колебаний при движении. В таких ситуациях снятые изображения улучшаются с помощью соответствующих шумоподавляющих фильтров. После уменьшения шума мы можем попытаться убрать тени с дорожных изображений используя метод минимальной энтропии. Затем текущие изображения преобразуются в двоичные с помощью пороговой обработки. На этом этапе дорожное полотно может быть распознано с помощью метода *k*-ближайших соседей (KNN). Чтобы убедиться, что распознанная дорога является для выделенной дороги, одновременно запускается алгоритм преобразования Хафа (НТ). Этот второй этап позволяет проверить первый этап. Сегменты пересечения дорожных изображений, обнаруженные с помощью KNN и НТ, извлекаются для обработки, а остальные части изображений отбрасываются. В результате такого подхода сегментированная часть, полученная в результате обоих этапов, представляет собой отслеживаемую дорогу. Пока оба этапа не совпадут, процесс будет повторяться с использованием новых дорожных изображений.

После этого результирующий тип дороги классифицируется с помощью нечеткого подхода. В результате вышеупомянутых этапов оцениваются двумерные значения векторов маршрута следования БПЛА, каждое из которых адресует точку, содержащую компоненты абсцисс и ординат в декартовой системе координат. Таким образом, определяется временный маршрут до тех пор, пока последующее изображение не будет захвачено и обработано БПЛА. Владелец может понести значительные расходы в случае потери БПЛА, но предлагаемая система позволяет избежать потери БПЛА направления в непредвиденных условиях, когда изображение объекта не может быть отображено временно [3]. Экономия энергии и снижение стоимости оценки достигаются за счет отсутствия дополнительных процессов в цикле возврата БПЛА.

В то время как в некоторых исследованиях делают снимки с наземных транспортных средств, других делают снимки с воздушных транспортных средств. БПЛА подходят для мониторинга дорожного движения в режиме реального времени и требуют меньше времени [4].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жайворонок, Д.А. Анализ современных технологий систем связи, контроля и управления на автомобильном транспорте / Д.А. Жайворонок // сборник: инновационные технологии на автомобильном транспорте. Всероссийская научно-практическая конференция. Воронеж. 2024. – С. 18-21.
2. Лукьянов, А.С. Выбор и особенности применения в транспортных комплексах навигационной аппаратуры потребителей / А.С. Лукьянов, А.С. Дерябин // сборник: перспективы развития, инновации и информационные технологии на транспорте. Материалы Международной молодежной научно-практической конференции. Воронеж. 2024. – С. 14-18.
3. Матяшова, Е.В. Радиоэлектронные системы защиты информации в беспилотных технологиях / Е.В. Матяшова // Охрана, безопасность, связь : материалы международной научно-практической конференции. Воронеж : Воронежский институт МВД России. –2025. – С. 48-50.
4. Чернопьятов, А. М. Беспилотные авиационные системы : учебник : А. М. Чернопьятов. – Москва : Директ-Медиа. 2024. – 188 с.

## REFERENCES

1. Zhayvoronok, D.A. Analysis of modern technologies of communication, control and management systems in road transport / D.A. Zhayvoronok // collection: innovative technologies in road transport. All-Russian scientific and practical conference. Voronezh. 2024. – P. 18-21.
2. Lukyanov, A.S. Selection and application features of navigation equipment for consumers in transport complexes / A.S. Lukyanov, A.S. Deryabin // collection: prospects for development, innovations and information technologies in transport. Materials of the International Youth Scientific and Practical Conference. Voronezh. 2024. – P. 14-18.
3. Matyashova, E.V. Radioelectronic information protection systems in unmanned technologies / E.V. Matyashova // Protection, security, communication : materials of the international scientific and practical conference. Voronezh : Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia. 2025. – P. 48-50.
4. Chernopyatov, A. M. Unmanned Aerial Systems: Textbook / A. M. Chernopyatov. – Moscow: Direct Media, 2024. – 188 p.

## К ВОПРОСУ О БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

А.Р. Романихин,<sup>1</sup> В.С. Волков<sup>1</sup>, С.В. Дорохин<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,  
г. Воронеж, Россия

Автор, ответственный за переписку: Артем Романович Романихин, etr1969@yandex.ru

**Аннотация.** В статье рассматриваются проблемы безопасности дорожного движения (БДД) в контексте цифровых инноваций, анализируя, как современные технологии могут способствовать снижению числа ДТП и улучшению ситуации на дорогах.

**Ключевые слова:** Безопасность дорожного движения. Цифровые инновации. Прогнозирование ДТП.

## ON THE ISSUE OF ROAD SAFETY

A.R. Romanikhin,<sup>1</sup> V.S. Volkov<sup>1</sup>, D.A. Zhayvoronok<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov,  
Voronezh, Russia

The author responsible for the correspondence: Artem Romanovich Romanikhin, etr1969@yandex.ru

**Annotation.** The article examines the problems of road safety in the context of digital innovation, analyzing how modern technologies can help reduce the number of accidents and improve the situation on the roads.

**Keywords:** Road safety. Digital innovations. Accident prediction.

Безопасность дорожного движения (БДД) остаётся одной из ключевых социальных и экономических проблем во всем мире. Ежегодно дорожно-транспортные происшествия (ДТП) уносят сотни тысяч жизней, а экономический ущерб исчисляется миллиардами. Однако с появлением и активным развитием цифровых и информационных технологий транспортный комплекс получил мощный инструмент для радикального изменения ситуации [1]. Цель данной статьи — определить роль и потенциал инновационных решений в сфере БДД, систематизировать актуальные тенденции и подходы, а также обозначить вектор развития на основе цифровизации и системного управления.

Ключевым драйвером преобразований в сфере БДД является внедрение Интеллектуальных транспортных систем (ИТС). ИТС – это не просто набор технологий, а комплексный, интегрированный подход к управлению транспортной инфраструктурой и потоками.

Изучение и обмен опытом: Внедрение ИТС, включая системы мониторинга трафика, адаптивные светофоры и «умные» парковки, уже продемонстрировало свою эффективность в крупнейших мегаполисах [2–3]. Обмен опытом внедрения и использования цифровых технологий позволяет научной общественности и специалистам оперативно осваивать лучшие мировые практики.

Новые возможности: ИТС предоставляют беспрецедентные возможности для предотвращения ДТП. Это достигается за счёт прогнозирования опасных ситуаций, оперативного информирования водителей и экстренных служб, а также снижения человеческого фактора через системы помощи водителю (ADAS) [4].

Основой для функционирования современных систем безопасности являются навигационно-телематические системы, в первую очередь, система ГЛОНАСС [5].

Системное управление и ГЛОНАСС: Применение системы ГЛОНАСС в транспортном комплексе выходит далеко за рамки простого определения местоположения. Она является центральным источником данных для:

- Мониторинга стиля вождения: Идентификация опасных манёвров (резкие торможения, превышение скорости).

- Управления пассажирскими и грузовыми перевозками: Обеспечение контроля за соблюдением маршрутов, режима труда и отдыха водителей, что критически важно для безопасности перевозки грузов и пассажиров.

Интеграция данных: Происходит активное представление интеграционных процессов – данные, полученные через ГЛОНАСС/GPS, объединяются с информационными системами (например, с базами данных ГИБДД, системами управления трафиком) [6–8]. Эта синергия позволяет формировать "цифровой двойник" дорожной ситуации, давая возможность для системного управления деятельностью по предотвращению ДТП.

Цифровизация диктует современные подходы организации и обеспечения БДД. Акцент смещается от реакции на происшествия к их предотвращению.

Прогностическая аналитика: Использование больших данных (Big Data) и машинного обучения для анализа причин и мест концентрации ДТП. Это позволяет не просто реагировать на "горячие точки", но и прогнозировать их появление, изменяя схемы движения или устанавливая дополнительные средства контроля.

V2X-коммуникации: Развитие систем связи «транспортное средство со всем» (Vehicle-to-Everything), которые позволяют автомобилям обмениваться информацией друг с другом и с дорожной инфраструктурой [9], мгновенно предупреждая о препятствиях, авариях или гололеде.

Техническое обслуживание и ремонт (ТОиР): Инновационные технологии ТОиР транспортных машин (например, предиктивная диагностика на основе телеметрии) также вносят вклад в БДД, предотвращая аварии, вызванные техническими неисправностями.

Одной из центральных задач современной транспортной науки является переход от разрозненного сбора данных к их бесшовной интеграции и системному использованию.

Данные, поступающие от навигационно-телематических систем (ГЛОНАСС/GPS), обладают колоссальной ценностью, но их потенциал раскрывается только при интеграции с другими информационными системами:

Связь с метеорологическими и дорожно-эксплуатационными службами: Автоматический анализ данных о погоде (гололёд, туман) совместно с данными о скоростном режиме позволяет оперативно вводить временные ограничения и направлять снегоуборочную технику, предотвращая массовые ДТП.

Интеграция с системами весогабаритного контроля: Телематика позволяет контролировать соблюдение установленных маршрутов и графиков, а интеграция с датчиками веса позволяет предотвращать перегруз транспорта, что является прямой угрозой безопасности и разрушает дорожное полотно.

Единое информационное пространство: Создание единых цифровых платформ, объединяющих данные от камер фиксации нарушений, ИТС, телематики и экстренных служб, формирует системный подход к управлению безопасностью, обеспечивая прозрачность и оперативность всех процессов.

Несмотря на технологический прогресс, проблемы формирования и функционирования систем перевозки грузов и пассажиров остаются актуальными. Цифровые технологии предлагают решения для минимизации рисков:

Контроль режима труда и отдыха (РТО): Цифровые тахографы, интегрированные с ГЛОНАСС, позволяют автоматизировать и сделать невозможным фальсификацию данных о РТО водителей. Усталость водителя – один из главных факторов ДТП, и его минимизация является прямым вкладом в БДД.

Обеспечение безопасности опасных грузов: Телематический мониторинг в реальном времени позволяет не только отслеживать местоположение, но и контролировать состояние груза (температуру, вибрацию), а также мгновенно информировать компетентные органы в случае отклонения от маршрута или аварийной ситуации.

Состояние транспортного средства играет критическую роль в безопасности. Новые и инновационные технологии технического обслуживания и ремонта (ТОиР) переносят акцент с планового обслуживания на предиктивную (прогнозную) диагностику.

Телеметрический мониторинг: Современные транспортные средства постоянно передают данные о состоянии ключевых узлов и агрегатов (тормозная система, двигатель, трансмиссия).

Прогноз неисправностей: Используя алгоритмы машинного обучения, система анализирует эти данные и может с высокой точностью предсказать потенциальный отказ критически важного компонента до того, как он произойдет. Это позволяет обслуживать транспортное средство по фактическому состоянию, а не по жёсткому графику.

Эффект для БДД: Своевременное выявление износа тормозных колодок или критического падения давления в шинах до выхода машины на маршрут напрямую исключает техническую неисправность как причину дорожно-транспортного происшествия, что является одним из самых эффективных инструментов повышения безопасности [10].

В заключение хочется отметить, что безопасность дорожного движения в XXI веке – это область, где цифровые инновации стали не просто помощником, а системообразующим элементом. Эффективное использование Интеллектуальных транспортных систем, глубокая интеграция данных от навигационно-телематических комплексов и переход к предиктивной диагностике в ТОиР — вот три столпа, на которых строится современная стратегия по достижению нулевой смертности.

Дальнейшее информирование научной общественности и специалистов о потенциале этих технологий и анализ современных тенденций в управлении движением являются ключевыми задачами для формирования безопасной, эффективной и устойчивой транспортной системы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об утверждении Основ государственной политики по безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2021 – 2030 годы : указ Президента Российской Федерации от 22 ноября 2022 г. № 834. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202211220001>. – Текст : электронный.
2. Выгский, Я. И. Интеллектуальные транспортные системы / Я. И. Выгский, А. М. Лялин. – Москва : Академия, 2018. – 256 с.
3. Васин, В. А. Безопасность дорожного движения: управление, технологии, моделирование / В. А. Васин. – Москва : Транспорт, 2019. – 315 с.
4. Ефремов, И. С. Теория и практика интеллектуальных транспортных систем / И. С. Ефремов. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 288 с.
5. Пупков, А. Н. Цифровизация транспортной отрасли: вызовы и перспективы / А. Н. Пупков. – Москва : ИНФРА-М, 2021. – 174 с.
6. Бабков, В. Ф. Современные тенденции развития интеллектуальных

транспортных систем в контексте безопасности дорожного движения / В. Ф. Бабков, В. В. Сильянов // Транспорт: наука, техника, управление. – 2021. – № 5. – С. 12–18.

7. Горев, А. Э. Адаптивное управление дорожным движением как элемент интеллектуальных транспортных систем / А. Э. Горев, Э. А. Горев // Вестник ИрГТУ. – 2022. – Т. 26, № 4. – С. 890–902.

8. Кочергин, В. В. Применение больших данных и искусственного интеллекта для прогнозирования дорожно-транспортных происшествий / В. В. Кочергин, А. Н. Романов // Информационные технологии. – 2020. – № 10. – С. 45–52.

9. Петров, А. П. Зарубежный опыт реализации концепции «Vision Zero» и возможности его применения в России / А. П. Петров, С. К. Соколов // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2019. – № 3 (51). – С. 78–85.

10. Федотов, Р. А. Беспилотный транспорт и его влияние на безопасность дорожного движения: анализ перспектив и вызовов / Р. А. Федотов // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2023. – № 1 (95). – С. 34–39.

## REFERENCES

1. Об утверждении Основ государственной политики по безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2021 – 2030 годы : указ Президента Российской Федерации от 22 ноября 2022 г. № 834. - URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202211220001>. – Текст : электронный.

2. Выгский, Я. И. Интеллектуальные транспортные системы / Я. И. Выгский, А. М. Лялин. – Москва : Академия, 2018. – 256 с.

3. Васин, В. А. Безопасность дорожного движения: управление, технологии, моделирование / В. А. Васин. – Москва : Транспорт, 2019. – 315 с.

4. Ефремов, И. С. Теория и практика интеллектуальных транспортных систем / И. С. Ефремов. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 288 с.

5. Пупков, А. Н. Цифровизация транспортной отрасли: вызовы и перспективы / А. Н. Пупков. – Москва : ИНФРА-М, 2021. – 174 с.

6. Бабков, В. Ф. Современные тенденции развития интеллектуальных транспортных систем в контексте безопасности дорожного движения / В. Ф. Бабков, В. В. Сильянов // Транспорт: наука, техника, управление. – 2021. – № 5. – С. 12–18.

7. Горев, А. Э. Адаптивное управление дорожным движением как элемент интеллектуальных транспортных систем / А. Э. Горев, Э. А. Горев // Вестник ИрГТУ. – 2022. – Т. 26, № 4. – С. 890–902.

8. Кочергин, В. В. Применение больших данных и искусственного интеллекта для прогнозирования дорожно-транспортных происшествий / В. В. Кочергин, А. Н. Романов // Информационные технологии. – 2020. – № 10. – С. 45–52.

9. Петров, А. П. Foreign experience in implementing the concept of "Vision Zero" and the possibilities of its application in Russia / А. П. Петров, С. К. Соколов // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2019. – № 3 (51). – С. 78–85.

10. Федотов, Р. А. Беспилотный транспорт и его влияние на безопасность дорожного движения: анализ перспектив и вызовов / Р. А. Федотов // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2023. – № 1 (95). – С. 34–39.

УДК 343.148.6

DOI: 10.58168/MSTT2025\_130-133

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГОДНЫХ ОСТАТКОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ АВТОВАРОВЕДЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ

И.В. Ворожейкин <sup>1</sup>, Д.А. Петрова <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

<sup>1</sup>igor.vorozheikin@mail.ru

<sup>2</sup>petrovad22@yandex.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается создание усовершенствованного метода для определения годных остатков транспортных средств при проведении автотовароведческих экспертиз, остаточная стоимость

**Ключевые слова:** автотовароведческая экспертиза, метод определения годных остатков, методология оценки, остаточная стоимость автомобиля, технико-экономический анализ ТС, ремонтпригодность деталей транспорта

## IMPROVEMENT OF THE METHOD FOR DETERMINING THE USABLE VEHICLE RESIDUES DURING THE AUTOMOTIVE RESEARCH

I.V. Vorozheikin <sup>1</sup>, D.A. Petrova <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil

<sup>1</sup>Engineering igor.vorozheikin@mail.ru

<sup>2</sup>petrovad22@yandex.ru

**Annotation.** The article discusses the creation of an improved method for determining the usable remnants of vehicles during automotive product examinations, as well as the residual value.

**Keywords:** automotive expertise, method of determining usable residues, assessment methodology, residual value of the vehicle, technical and economic analysis of the vehicle, maintainability of transport parts.

Одно из ключевых направлений автомобильной экспертизы - определение пригодности к использованию оставшихся элементов транспортного средства. Эта задача приобретает особую актуальность в случаях, связанных с дорожно-транспортными происшествиями, длительной эксплуатацией или значительным воздействием коррозии. Точная оценка остаточной стоимости транспортного средства имеет решающее значение как для производителей автомобилей, так и для страховых компаний и судебных органов.

К сожалению, существующие методы оценки износа и определения состояния компонентов транспортного средства не лишены недостатков. Нормативные стандарты, экспертные оценки и инструментальные методы часто страдают от субъективности, непоследовательности суждений и неспособности выявлять скрытые дефекты, которые могут существенно повлиять на конечный результат оценки.

Актуальность настоящего исследования обусловлена потребностью в повышении точности и объективности оценок остаточной стоимости транспортных средств. По мере

возрастания срока эксплуатации транспортных средств или воздействия на них экстремальных условий эксплуатации, таких как аварии или работа в суровых климатических зонах, возникает острая необходимость в разработке более надежного метода оценки их годных остатков. В данной работе анализируются ограничения существующих методов оценки и предлагается инновационный подход, основанный на интеграции передовых диагностических технологий.

Предлагаемое решение направлено на разработку программного обеспечения (ПО), объединяющего передовые алгоритмы машинного обучения с действующей в Российской Федерации нормативно-методической базой в области автотехнической экспертизы. Ключевым преимуществом данной системы по сравнению с зарубежными аналогами является ее полное соответствие требованиям законодательства Российской Федерации, в частности, «Методическим рекомендациям по проведению судебных автотехнических экспертиз и исследований колесных транспортных средств в целях определения размера ущерба, стоимости восстановительного ремонта и оценки». Это обеспечит не только высокую точность технических расчетов, но и юридическую важность формируемых заключений, что сделает их пригодными для использования в судебных разбирательствах и страховых спорах.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта СПбГАСУ на 2025 год.

Новое ПО (Рисунок 1) объединяет обнаружение объектов, сегментацию, классификацию повреждений, оценку целостности материала и сопоставление сходства с предыдущими базами данных о целых объектах. Используя последние достижения в области компьютерного зрения, глубокого обучения и мультимодального синтеза, предлагаемая система направлена на повышение точности и скорости оценки того, какие остатки транспортного средства можно использовать.

В последнее время искусственный интеллект претерпел существенные изменения, открыв новую эру технологического прогресса. Компьютерный анализ всё шире применяется в различных областях, в том числе для выявления повреждений транспортных средств.

Применение алгоритмов на основе искусственного интеллекта для оценки ущерба ТС обладает рядом преимуществ. Одним из главных достоинств является высокая скорость анализа фотографий, которая часто превосходит скорость анализа человеком.

Реализация программного обеспечения для оценки остаточной стоимости:

1. Классификация деталей по фотографиям: Система начинает с загрузки изображений поврежденного ТС. Затем она должна выполнить анализ изображений или другую обработку, чтобы классифицировать каждую запасную часть. Это предполагает наличие модуля компьютерного зрения.

2. Итеративное обнаружение повреждений: решение и цикл указывают на то, что классификация может нуждаться в доработке. Например, части, в отношении которых система не уверена, могут быть проанализированы повторно или потребовать дополнительного ввода данных, пока классификация не станет достоверной.

3. Юридическая фильтрация годности: не все неповрежденные детали автоматически считаются «подходящими остатками». ПО должно выполнять фильтрацию или перекрестную проверку по юридическому/нормативному каталогу (пунктирная рамка со ссылкой на пункт 10.1), чтобы определить, какие детали по закону могут считаться остатками.

4. Оценка эффекта: после определения подмножества деталей-кандидатов программное обеспечение должно применить логику оценки с использованием формул или справочных данных — чтобы вычислить, сколько эти детали «стоят» в качестве остатков. На этом этапе используются вспомогательные данные (VIN, возраст транспортного средства, эксплуатационный класс) для корректировки коэффициентов



(износа, спроса, остаточного срока службы и т. д.).

5. Отчет/вывод данных: затем ПО формирует официальный отчет с результатами, который может быть использован страховщиками, экспертами или государственными органами. В зависимости от того, были ли найдены подходящие детали, система либо выдаёт полный отчёт с оценкой, либо просто сообщает, что «подходящих остатков нет».

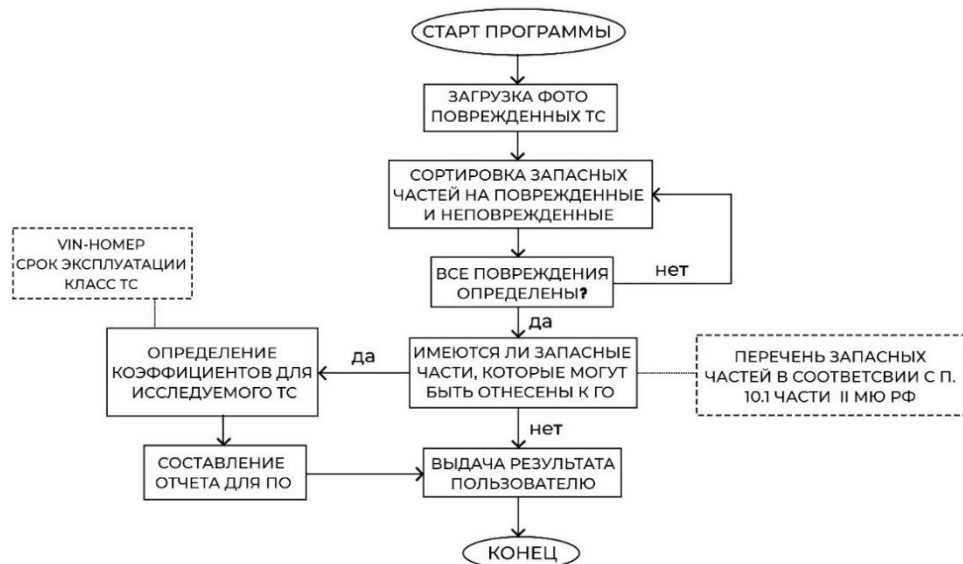


Рисунок 1 – Блок-схема работы предполагаемого ПО

Figure 1 – Block diagram of the proposed software

Центральным элементом системы является структурированная база данных, включающая: фотографии ТС, фотографии поврежденных транспортных средств с различными типами и зонами повреждений, детальные снимки компонентов, метаданные и технические характеристики, описание повреждений, реальные затраты на ремонт, предложения по запасным частям, цены на утилизацию.

Для достижения точности система проходит строгий процесс обучения. В начале идет маркировка. Специалисты вручную маркируют изображения из обучающей выборки, указывая на поврежденные зоны, детали для восстановления и дефекты, исключающие восстановление. После изображения дополняются (поворот, изменение освещенности) для повышения устойчивости модели к реальным условиям. Далее данные делятся на обучающую, проверочную и тестовую выборки для оценки модели на новых транспортных средствах и повреждениях. Необходимо, чтобы модель умела обнаруживать дефекта и классифицировать их по типу.

Внедрение разработанного усовершенствованного метода послужит существенному повышению эффективности процесса автовароведческой экспертизы (Таблица 1).

Таблица 1 – Сравнение эффективности на проведение экспертизы

Table 1 – Comparison of the effectiveness of the examination

Параметр	Усовершенствованный метод	Существующие методы
Точность определения пригодных деталей	92-95 %	75-80 %
Время обработки одного случая	10-15 минут	50-80 минут
Субъективность	3-5 %	15-25 %
Стоимость обработки	низкая	высокая

Упущение дефектов	низкий риск (при хорошей базе данных)	умеренный риск
-------------------	--	----------------

Для того чтобы убедиться в этом, проведем сравнительный анализ усовершенствованного метода и существующих таких как аукционный и расчетный (экспертный).

Сравнив два метода, можно понять, что предложенный усовершенствованный вариант является более эффективным, занимает меньше времени на обработку и определение, а также более точно оценивает пригодные детали. Нельзя отрицать, что есть определённые минусы такие как субъективность. Иногда эксперт может распознать то, что не может искусственный интеллект. Это показывает важность и основную роль человека в ее поддержке и обучении.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические рекомендации по проведению судебных автотехнических экспертиз и исследований колёсных транспортных средств в целях определения размера ущерба, стоимости восстановительного ремонта и оценки. М.: ФБУ РФРЦСЭ при Минюсте России, 2018 г.
2. Евтюков С. А., Васильев Я. В. Реконструкция и экспертиза ДТП в примерах. СПб.: Издательский дом Петрополис, 2012. 323 с.
3. Евтюков С. А., Васильев Я. В. Экспертиза ДТП: методы и технологии. СПб., СПбГАСУ. 2012. 310 с.
4. Мд Джахид Хасан, Конг Кха Нгуен, Йи Линг Бу, Хамед Джахани, Кок-Леонг Онг. Vehicle Damage Detection Using Artificial Intelligence: A Systematic Literature Review / WIREs Journals Wiley Online Library / 2025. URL: <https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/widm.70027>
5. Дж. Наганандини, Шубходип Адарак, Рогалик с Прашантом. CNN-Based Car Damage Detection / Springer Nature Link / 2022, pp 673–680. URL: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-19-2350-0\\_64?fromPaywallRec=true](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-19-2350-0_64?fromPaywallRec=true)
6. Namam A. Mohammed, Moayad Y. Potrus, Abbas M. Ali. Deep Learning Based Car Damage Classification and Cost Estimation / ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences The official scientific journal of Salahaddin University-Erbil // ZJPAS: 2023, 35(1): 1-9 URL: <https://zancojournal.su.edu.krd/index.php/JPAS/article/view/303/236>.
7. Panumate Chetprayoon, Miki Katsuragi URL: <https://cloud.google.com/blog/products/ai-machine-learning/identifying-vehicle-damage-effectively-with-explainable-ai>.

## REFERENCES

1. Methodological Recommendations for Conducting Forensic Automotive Technical Examinations and Studies of Wheeled Vehicles for the Purpose of Determining the Amount of Damage, Cost of Restoration Repair and Assessment. Moscow: Federal Budgetary Institution «Russian Federal Centre of Forensic Expertise» of the Ministry of Justice of the Russian Federation, 2018.
2. Evtukov S. A., Vasilyev Ya. V. Reconstruction and Examination of Traffic Accidents in Examples. St. Petersburg: Petropolis Publishing House, 2012. 323 p.
3. Evtukov S. A., Vasilyev Ya. V. Examination of Traffic Accidents: Methods and Technologies. St. Petersburg, SPbGASU. 2012. 310 p.
4. Md Jahid Hassan, Kong Kha Nguyen, Yi Ling Bu, Hamed Jahani, Kok-Leong Ong. Vehicle Damage Detection Using Artificial Intelligence: A Systematic Literature Review / WIREs Journals Wiley Online Library / 2025. URL: <https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/widm.70027>
5. J. Naganandini, Shubhdeep Adarak, Bagel with Prashanth. CNN-Based Car Damage Detection / Springer Nature Link / 2022, pp 673–680. URL: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-19-2350-0\\_64?fromPaywallRec=true](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-19-2350-0_64?fromPaywallRec=true)
6. Namam A. Mohammed, Moayad Y. Potrus, Abbas M. Ali. Deep Learning Based Car Damage Classification and Cost Estimation / ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences The official scientific journal of Salahaddin University-Erbil // ZJPAS: 2023, 35(1): 1-9 URL: <https://zancojournal.su.edu.krd/index.php/JPAS/article/view/303/236>.
7. Panumate Chetprayoon, Miki Katsuragi URL: <https://cloud.google.com/blog/products/ai-machine-learning/identifying-vehicle-damage-effectively-with-explainable-ai>.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕМОНТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ДЛЯ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ АВТОТОВАРОВЕДЧЕСКИХ ЭКСПЕРТИЗ

И.В. Ворожейкин <sup>1</sup>, Д.В. Сокол <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

<sup>1</sup> igor.vorozheikin@mail.ru

<sup>2</sup> daniil.sokol.05@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается создание нового метода для определения ремонтных воздействий для запасных частей транспортных средств при проведении автотовароведческих экспертиз.

**Ключевые слова:** автотовароведческая экспертиза, исследование повреждений транспортных средств, запасные части, ремонтные воздействия, машинное обучение

## ENHANCEMENT OF THE METHOD FOR DETERMINING REPAIR IMPACTS ON VEHICLE SPARE PARTS IN AUTOMOTIVE TECHNICAL EXPERTISE

I.V. Vorozheikin <sup>1</sup>, D.V. Sokol <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

<sup>1</sup> igor.vorozheikin@mail.ru

<sup>2</sup> daniil.sokol.05@mail.ru

**Abstract.** This article presents the development of a novel method for identifying repair impacts on vehicle spare parts during automotive commodity research examinations.

**Keywords:** vehicle technical expertise, damage assessment, spare parts, repair identification, machine learning.

На сегодняшний день, автотовароведческая экспертиза является одним из самых востребованных видов экспертиз при разрешении судебных споров, касающихся транспорта. Зачастую в материалах дела, предоставленных экспертам на проведение экспертизы, имеется незначительное количество фотографий исследуемого ТС, при этом произвести его осмотр невозможно в связи тем, что оно отремонтировано или продано. При таких обстоятельствах эксперты вынуждены делать выводы о назначении ремонтных воздействий на поврежденные запасные части по малоинформативным фотографическим снимкам или же видеоматериалам. Зачастую такие условия проведения экспертизы приводят к значительным ошибкам, допускаемым экспертами, что в свою очередь влияет на итоговую стоимость восстановительного ремонта ТС, как следствие, на итоговые выводы судебной экспертизы. В связи с этим, возникает необходимость в разработке современных технических решений, а именно создание высокотехнологичного программного обеспечения (ПО) для определения необходимых ремонтных воздействий, на основании фотографий поврежденных ТС. Что значительно сократит трудозатраты экспертов и минимизирует вероятность ошибки при проведении

экспертиз. А также способствует удобству потребителей при выборе и покупке запасных частей автомобиля, основываясь на их финансовых и временных предпочтениях.

Современная методология проведения автотовароведческой экспертизы, в части оценки запасных частей и кузовных элементов на предмет ремонтных воздействий, базируется преимущественно на эмпирическом подходе. Это означает, что экспертам приходится ездить на осмотры в разные места, что дорого обходится, особенно в странах с большой территорией. Кроме того, если продавец оспаривает оценку, все стороны в итоге теряют время и ценные ресурсы. Помимо этого, у потребителей, обращающихся в экспертные агентства, не всегда имеется возможность осмотреть автомобиль в очном формате. Поэтому для принятия дальнейшего решения они полагаются на фотографии, предоставленные продавцом/дилером. Несмотря на использование специализированного инструментария, данный подход характеризуется рядом системных недостатков таких как: высокая степень субъективности, ограниченность возможностей инструментального контроля и отсутствие стандартизированных количественных критериев. Таким образом, современная практика автотовароведческой экспертизы в части определения ремонтных воздействий сталкивается с фундаментальными проблемами, связанными с преобладанием субъективно-эмпирической составляющей над объективно-количественной.

Выявленные системные недостатки традиционной методологии создают потребность в поиске принципиально новых подходов. Таковым подходом, принимающим современные принципы, является интеграция технологий искусственного интеллекта, а именно методов машинного обучения в совокупности с компьютерным зрением, в процесс автотовароведческой экспертизы.

Задачей предлагаемого решения является создание программного обеспечения, интегрирующего передовые методы машинного обучения с действующей в Российской Федерации нормативно-методической базой. Ключевым отличием от зарубежных аналогов является ориентация системы на соблюдение требований таких документов, как Методические рекомендации по проведению судебных автотехнических экспертиз и исследований колесных транспортных средств в целях определения размера ущерба, стоимости восстановительного ремонта и оценки». Это обеспечит не только техническую точность, но и юридическую значимость формируемого заключения, делая его пригодным для использования в судебных и страховых случаях.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта СПбГАСУ на 2025 год.

В предлагаемом ПО можно выделить следующие основные модули работы (Рисунок 1).

Подготовка и ввод данных. Это начальная стадия, где система собирает всю необходимую информацию для анализа. На данном этапе пользователь загружает в систему информацию об автомобиле (тип, марка, модель, модификация, год изготовления, рабочий объём и мощность двигателя, тип ЛКП, основные технические характеристики и комплектация). Загружаются несколько высококачественных фотографий автомобиля с разных ракурсов, акцентирующие внимание на поврежденных областях.

Анализ изображений. Это ядро системы, где искусственный интеллект анализирует загруженные фотографии. Загруженные фотографии поступают в нейросетевые модели компьютерного зрения. Алгоритм определяет и выделяет на изображении контуры основных частей автомобиля: дверь, крыло, бампер, фара, капот и т.д.

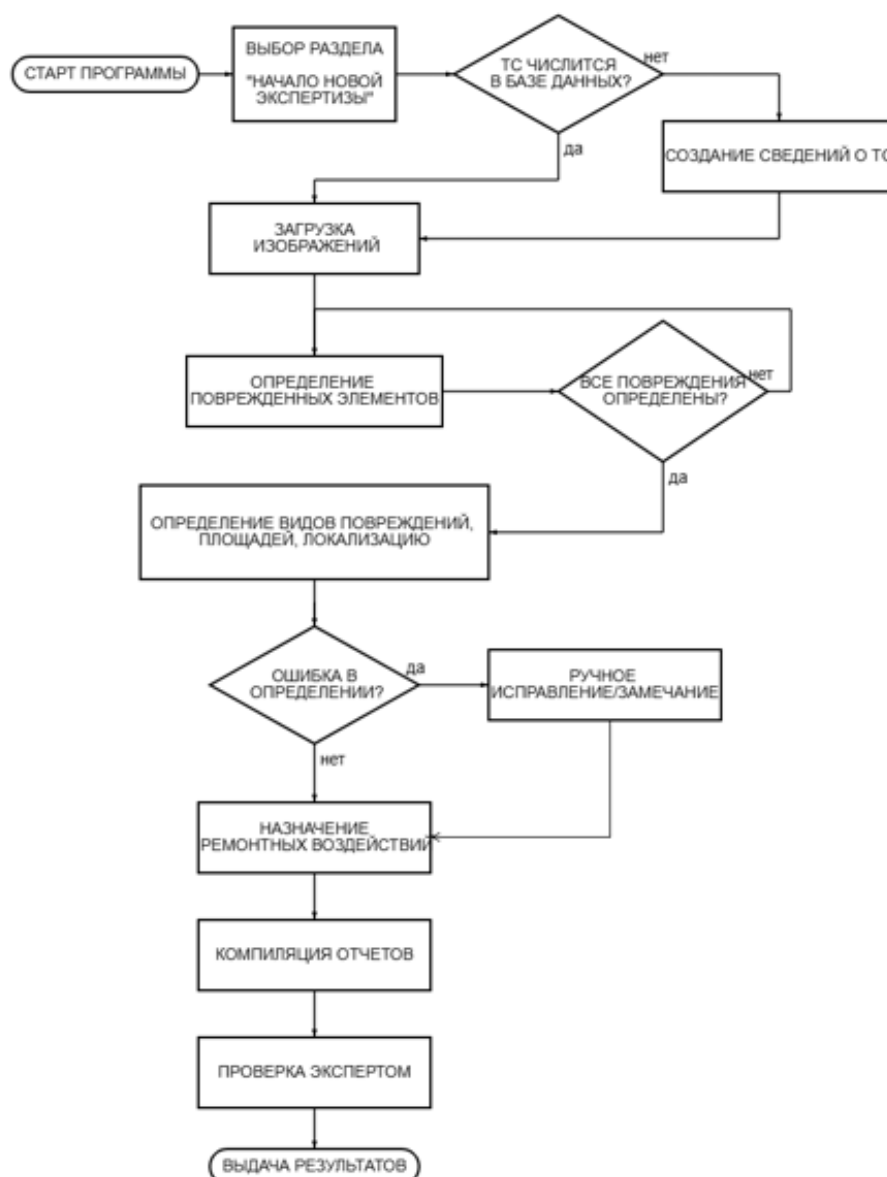


Рисунок 1 – Блок-схема работы предлагаемого ПО  
Figure 1 – Block diagram of the proposed software

Затем внутри выделенных частей алгоритм ищет, локализует и классифицирует повреждения: царапины, вмятины, сколы, разрывы. Результаты работы AI-модуля формализуются, создается структурированный список всех найденных повреждений. Для каждого повреждения указывается: часть ТС, тип повреждения, координаты на изображении, уникальный номер для связи с дальнейшим алгоритмом.

Глубокий анализ и формализация ремонтных воздействий. На данном этапе система переходит от идентификации повреждений к формализации ремонтных воздействий и расчету стоимости. Это ядро экспертной оценки, и алгоритм работает в строгом соответствии с нормативными источниками и рекомендациями.

Разработка и внедрение описанного усовершенствованного метода позволит достичь значительного повышения эффективности процесса автотовароведческой экспертизы. Оценка эффективности проводится по трем критериям: производительность труда эксперта, экономическая целесообразность, качество результата.

Основой повышения производительности от внедрения системы заключается в кардинальном сокращении времени на проведение экспертизы за счет автоматизации ручных операций таких как: составление дефектной ведомости, ручной поиск аналогов запчастей, определение необходимых восстановительных работ, нормо-часов и расчет стоимости. Система автоматически формирует структурированный проект заключения, который эксперту остается лишь проверить и, при необходимости, скорректировать. Это сокращает время на оформление примерно на 80% (Таблица 1).

Таблица 1 – Сравнение временных затрат на проведение экспертизы  
Table 1 – Comparison of time spent on examination

Наименование этапа экспертизы	Традиционный метод, час.	С использованием усовершенствованного метода	Экономия времени, %
Обработка фото, составление дефектной ведомости	0,5-1,0	0,1-0,2	80
Классификация повреждений и ремонтных воздействий	0,2-0,3	0,05	75
Расчет стоимости	0,2-0,3	0,02	90
Оформление заключения	0,5-1,0	0,1-0,2	80
-	1,4-2,6	0,27-0,47	81

Совершенствование метода определения ремонтных воздействий для запасных частей транспортных средств путем разработки и теоретического обоснования архитектуры программного комплекса на основе искусственного интеллекта, позволит в перспективе обеспечить повышение уровня достоверности, объективности и эффективности автотехнических экспертиз.

Проведена оценка эффективности предложенного метода, которая показала его высокую практическую значимость. Внедрение комплекса позволит сократить время проведения одной экспертизы примерно на 80%, повысив производительность труда эксперта в 3-4 раза.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Методические рекомендации по проведению судебных автотехнических экспертиз и исследований колёсных транспортных средств в целях определения размера ущерба, стоимости восстановительного ремонта и оценки. М.: ФБУ РФПЦСЭ при Минюсте России, 2018 г.
- 2 Namam A. Mohammed, Moayad Y. Potrus, Abbas M. Ali. Deep Learning Based Car Damage Classification and Cost Estimation / ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences The official scientific journal of Salahaddin University-Erbil // ZJPAS: 2023, 35(1): 1-9 URL: <https://zancojournal.su.edu.krd/index.php/JPAS/article/view/303/236>.
- 3 R.E. van Ruitenbeek. S. Bhulai. Convolutional Neural Networks for vehicle damage detection / Machine Learning with Applications Volume 9, 15 September 2022 - URL: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666827022000433?pes=vor&utm\\_source=wiley&getft\\_integrator=wiley#b9](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666827022000433?pes=vor&utm_source=wiley&getft_integrator=wiley#b9).
- 4 Panumate Chetprayoon, Miki Katsuragi URL: <https://cloud.google.com/blog/products/ai-machine-learning/identifying-vehicle-damage-effectively-with-explainable-ai>.
- 5 Md Jahid Hasan, Cong Kha Nguyen, Yee Ling Boo, Hamed Jahani, Kok-Leong Ong. Vehicle Damage Detection Using Artificial Intelligence: A Systematic Literature Review. URL: <https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/widm.70027>

- 6 Евтюков С. А., Васильев Я. В. Реконструкция и экспертиза ДТП в примерах. СПб.: Издательский дом Петрополис, 2012. 323 с.
- 7 Евтюков С. А., Васильев Я. В. Экспертиза ДТП: методы и технологии. СПб., СПбГАСУ. 2012. 310 с.

## REFERENCES

- 1 Methodological Recommendations for Conducting Forensic Automotive Technical Examinations and Studies of Wheeled Vehicles for the Purpose of Determining the Amount of Damage, Cost of Restoration Repair and Assessment. Moscow: Federal Budgetary Institution «Russian Federal Centre of Forensic Expertise» of the Ministry of Justice of the Russian Federation, 2018.
- 2 Namam A. Mohammed, Moayad Y. Potrus, Abbas M. Ali. Deep Learning Based Car Damage Classification and Cost Estimation / ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences The official scientific journal of Salahaddin University-Erbil // ZJPAS: 2023, 35(1): 1-9 URL: <https://zancojournal.su.edu.krd/index.php/JPAS/article/view/303/236>.
- 3 R.E. van Ruitenbeek. S. Bhulai. Convolutional Neural Networks for vehicle damage detection/ Machine Learning with Applications Volume 9, 15 September 2022 - URL: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666827022000433?pes=vor&utm\\_source=wiley&getft\\_integrator=wiley#b9](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666827022000433?pes=vor&utm_source=wiley&getft_integrator=wiley#b9).
- 4 Panumate Chetprayoon, Miki Katsuragi URL: <https://cloud.google.com/blog/products/ai-machine-learning/identifying-vehicle-damage-effectively-with-explainable-ai>.
- 5 Md Jahid Hasan, Cong Kha Nguyen, Yee Ling Boo, Hamed Jahani, Kok-Leong Ong. Vehicle Damage Detection Using Artificial Intelligence: A Systematic Literature Review. URL: <https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/widm.70027>
- 6 Evtyukov S. A., Vasilyev Ya. V. Reconstruction and Examination of Traffic Accidents in Examples. St. Petersburg: Petropolis Publishing House, 2012. 323 p.
- 7 Evtyukov S. A., Vasilyev Ya. V. Examination of Traffic Accidents: Methods and Technologies. St. Petersburg, SPbGASU. 2012. 310 p.

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИННОВАЦИЙ И ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ МИРОВОГО РЫНКА ТРАНСПОРТНЫХ УСЛУГ

С.В. Дорохин <sup>1</sup>, Н.А. Азарова <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,  
г. Воронеж, Россия

<sup>2</sup> azarovarsd@rambler.ru

**Аннотация.** Меняющийся под воздействием инноваций мировой рынок транспортных услуг порождает глобальный экономический сдвиг, обусловленный применением инновационных цифровых технологий и сильного искусственного интеллекта, который выступает драйвером, преумножающим технологический прогресс, поскольку способствует развитию всей экономики в целом.

**Ключевые слова:** инновации, рынок транспортных услуг, процессы цифровизации.

## PROSPECTS FOR INNOVATION AND DIGITAL TRANSFORMATION OF THE GLOBAL TRANSPORT SERVICES MARKET

S.V. Dorokhin <sup>1</sup>, N.A. Azarova <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,  
Voronezh, Russia

<sup>2</sup> azarovarsd@rambler.ru

**Abstract.** The global transportation services market, which is changing under the influence of innovation, is creating a global economic shift driven by the use of innovative digital technologies and strong artificial intelligence, which is driving technological progress and contributing to the overall development of the economy.

**Keywords:** innovations, the transport services market, and digitalization processes.

Цифровизация оказала радикальное влияние на трансформацию мирового рынка транспортных услуг. Ключевое значение в данном процессе имеют цифровая трансформация, процессы глобализации и усиление конкурентной борьбы.

Транспортная отрасль вынуждена переосмысливать устоявшиеся десятилетиями бизнес-модели и кардинально изменять структуру своей деятельности, адаптируясь к новым условиям посредством внедрения цифровых платформ и иных инновационных решений. В тоже время, например, мировая автомобильная промышленность подвержена воздействию множества факторов, характеризующихся растущим влиянием, усложнением и многообразием. Среди ключевых факторов влияния выделяются глобализация, позволяющая автопроизводителям осваивать новые рынки, разнообразие потребительских предпочтений и стремительная модернизация продукции. Разнообразие потребностей покупателей стимулирует формирование новых поведенческих паттернов и необходимость индивидуального удовлетворения запросов клиентов, в то время как расширение ассортимента автомобилей сокращает продолжительность жизненного цикла отдельных моделей, позволяя оперативно отвечать на быстро изменяющиеся запросы потребителей путем выпуска инновационной продукции. Согласно данным.



Всемирного экономического форума (2020 г.), средний срок эксплуатации автомобиля сократился с восьми до трех лет [1].

Сегодня доля цифровых технологий в конструкции автомобиля достигает минимум половины его общей стоимости. Инновационные решения в области программного и аппаратного обеспечения значительно расширили функциональные возможности автомобиля, одновременно увеличив его техническую сложность. Исследования выявили несколько ключевых направлений, способствующих быстрому росту уровня цифровизации транспортной отрасли. Среди них особое внимание уделяется подключению водителей к сетям, развитию сервисов на основе геолокационных данных и персонализации взаимодействия с транспортным средством исходя из индивидуальных предпочтений пользователей – функция, которой ещё двадцать лет назад не существовало вовсе. Важнейшей перспективной технологией становится беспилотное управление транспортом, когда от водителя потребуется лишь активация соответствующей опции, а транспортное средство само довезёт до пункта назначения. Здесь выделяют два основных этапа развития: ассистированное и полностью автономное вождение. Ассистирование предполагает постепенное внедрение функций поддержки водителя, постепенно превращающих последнего в наблюдателя, в то время как автономное движение предусматривает способность автомобиля перемещаться и ориентироваться на дороге без участия человека практически в любых дорожных ситуациях.

Процесс цифровизации оказывает значительное позитивное влияние на цепь формирования стоимости мирового рынка транспортных услуг, повышая эффективность операций, снижая издержки и укрепляя сотрудничество участников рынка благодаря обмену информацией и внедрению инноваций. Эта тенденция способствует переходу от традиционной схемы B2B, основанной на взаимодействии через дилерские сети, к современной концепции B2C, обеспечивающей прямые контакты с конечными пользователями и развитие партнёрства с поставщиками и покупателями транспортных услуг на основе анализа больших массивов данных. Рост числа подключённых транспортных средств приводит к изменению стратегии производителей, отказываясь от простого сбыта товара и стремясь к созданию уникальных предложений, ориентированных на повышение качества обслуживания клиентов. Как показывают научные исследования, цифровизация существенно улучшает работу логистических цепей, оптимизирует затраты и повышает качество управления всеми этапами производственного процесса. Особую значимость приобретает цифровое производство, основой которого становятся новые поколения многофункциональных роботов, широкое использование технологий искусственного интеллекта и возможностей облачных вычислений, формирующих основу пятой промышленной революции.

Помимо указанных ранее аспектов, процесс цифровой трансформации в транспортной отрасли затрагивает возникновение целого ряда дополнительных значимых элементов. Прежде всего, происходят существенные изменения в сфере розничной торговли, включающие взаимодействие производителей, отделов продаж и потребителей, которые активно ищут новые формы коммуникаций и способов установления связей. Потребители проявляют ожидания относительно предоставления им удобных форматов взаимодействия, включая физические точки продаж и онлайн-каналы. Значительно возрастает важность сервисного обслуживания и подключения цифровых сервисов, обеспечивающих превентивную диагностику неисправностей с использованием сложных технических решений. Так, например, оснащённые интеллектуальной электроникой узлы автомобиля смогут автоматически передавать уведомления о необходимых ремонтных работах или замене деталей. Ещё одно важное направление связано с рынком подержанных автомобилей, где упрощается процедура

обновления оборудования и программного обеспечения, однако компаниям-производителям и поставщикам предстоит решить проблему совместимости собственных систем. Возникают принципиально новые сферы деятельности, связанные с торговлей данными, извлекаемыми из транспортных средств, что открывает огромные коммерческие возможности для точечной сегментации целевой аудитории, разработки альтернативных бизнес-моделей и увеличения операционной эффективности предприятий благодаря грамотному применению данных и аналитическим инструментам. Наконец, важнейшую роль начинают играть инфраструктурные элементы типа V2V и V2I (Vehicle-to-Vehicle и Vehicle-to-Infrastructure), представляющие собой комплекс датчиков, транспондеров и RFID-считывающих устройств, расположенных вдоль дорог, на перекрестках, мостах и стоянках. Данные элементы формируют единую систему передачи цифрового сигнала, предназначенную для повышения безопасности дорожного движения и оптимизации транспортной инфраструктуры [1].

Например, электромобильная отрасль находится на пороге масштабной конкурентной гонки среди автопроизводителей за создание самой передовой модели электромобиля. Особое внимание привлекает ситуация на вторичном рынке, где возникают специфические трудности и открываются новые возможности. Сегодня производители оригинального транспортного оборудования инвестируют крупные суммы в разработку технологий, соответствующих современным рыночным требованиям. Тем не менее, остается неопределенность относительно того, какая именно технология получит наибольшее распространение, что создает дополнительную нагрузку на автопромышленность, стремящуюся сохранить лидирующие позиции в области производства и технологических разработок [1].

Цифровизация окажет первостепенное влияние на поставщиков автопроизводителей, которым придется интенсивно внедрять современные коммуникационные технологии и передовые производственные методики, включая 3D-печать, компьютеризированное числовое управление оборудованием (ЧПУ), литьё под давлением, а также технологию обратного проектирования. Помимо этого, важной задачей станет совершенствование коммерческих инструментов, таких как электронная торговля и сервисы краткосрочной аренды автомобилей (каршеринга).

Прогнозные статистические исследования предполагают, что объем рынка беспилотного и автономного транспорта вырастет в 2-4 раза к 2030 г. [2]. В настоящее время транспортная отрасль непрерывно использует искусственный интеллект. Эти процессы усовершенствуют следующие направления:



- компьютерное зрение, включающее распознавание объектов, дорожных знаков, пешеходов и других транспортных средств;
- машинное обучение и глубокое обучение, включающее анализ больших объемов данных, полученных от датчиков и камер, для улучшения способности беспилотного транспорта к вождению;
- предиктивная аналитика, включающая прогнозирование действий других участников дорожного движения;
- системы планирования маршрута и принятия решений, включающие определение оптимального маршрута движения, учитывая текущие дорожные условия, препятствия и правила дорожного движения [2].

В настоящее время по всем основным направлениям развития беспилотного и автономного транспорта, кроме рельсового, Россия не отстает от мировых трендов. Беспилотный и автономный транспорт – это транспортное средство, не управляемое человеком и передвигающееся при помощи системы автономного управления или искусственного интеллекта [2].

Предполагается, что наиболее быстрорастущим сегментом будет являться мировой рынок развития применения легковых автомобилей (таблица 1).

Таблица 1 – Прогнозные направления и драйверы роста развития инноваций мирового рынка транспортных услуг [2]

Table 1 – Forecast trends and drivers of innovation growth in the global transport services market [2]

Направление		Мировой рынок, \$ млрд.	
		2023 г.	2030 г.
	Мировой рынок легковых автомобилей	55	200
	Мировой рынок грузовых автомобилей	31	68
	Мировой рынок беспилотных авиационных систем	34	63
	Мировой рынок водного и ж/д транспорта	14	25
	Мировой рынок с/х техники	81	146

В заключение можно сделать вывод, что основными драйверами роста мировых рынков транспортных средств по каждому виду транспорта будут следующие:

- 1) для мирового рынка легковых автомобилей:
  - оптимизация перевозок на такси: беспилотные такси позволят сократить расходы на персонал и добиться более эффективного использования автомобилей [2];
  - внедрение беспилотных автомобилей позволит оптимизировать транспортные потоки и снизить количество пробок на дорогах [2].
- 2) для мирового рынка грузовых автомобилей:
  - исключение гарантированных водителю остановок на отдых: повысит скорость движения грузов и повысит время полезного использования транспортными средствами
  - создающиеся беспилотные логистические коридоры упрощают внедрение грузового автотранспорта [2].
- 3) для мирового рынка беспилотных авиационных систем:
  - активный рост основных рынков применения БПЛА: геодезии и картографии, мониторинга и видеосъемки (в ~2,5 раза к 2030 г.) [2].
- 4) для мирового рынка водного и ж/д транспорта:
  - водный транспорт столкнется со значительным дефицитом кадров: например, дефицит моряков достигнет 20% к 2026 г. [2];
  - беспилотный ж/д транспорт эксплуатируется с 1980-х годов, и большой опыт использования упрощает внедрение новых автономных систем [2].
- 5) для мирового рынка с/х техники - внедрение беспилотных комбайнов позволит сократить себестоимость производства на 3-5% и снизить потери агрокультур при уборке в 2 раза [2].

Таким образом, трансформация мирового рынка транспортных услуг посредством инноваций и процессов цифровизации, включая применение сильного искусственного интеллекта, представляет собой многообещающее направление развития мировых рынков всех видов транспорта [3]. Тем не менее, интеграция инновационных технологий сталкивается с определенными трудностями. Среди ключевых препятствий выделяются высокие капитальные вложения, необходимые для разработки и тестирования соответствующих инновационных решений, отсутствие нормативно-правового регулирования эксплуатации беспилотных и автономных транспортных средств, а также необходимость обеспечения надежной работы автоматизированных систем управления, в том числе обеспечение их защищенности от возможных киберугроз.

Следовательно, успешная трансформация мирового рынка транспортных услуг посредством инноваций и процессов цифровизации требует комплексного подхода, учитывающего технологические, экономические и правовые аспекты.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Llopis-Albert C, Rubio F, Valero F. Impact of digital transformation on the automotive industry. *Technol Forecast Soc Change*. 2021 Jan;162:120343. doi: 10.1016/j.techfore.2020.120343.
2. Тренды развития искусственного интеллекта и цифровых технологий на основе ИИ до 2030 г. <https://www.sbs-consulting.ru/upload/iblock/985/a1asjblh8uh1n2p2mbm04fcota6qu0gq.pdf>
3. Дорохин, С. В. Инновационные цифровые технологии в сфере транспорта как современная глобальная тенденция развития / С. В. Дорохин, Н. А. Азарова // Перспективы развития, инновации и информационные технологии на транспорте : Материалы Международной молодежной научно-практической конференции, Воронеж, 17–18 октября 2024 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2024. – С. 140-144. – DOI 10.58168/DPIITT2024\_140-144

### REFERENCES

1. Llopis-Albert C, Rubio F, Valero F. Impact of digital transformation on the automotive industry. *Technol Forecast Soc Change*. 2021 Jan;162:120343. doi: 10.1016/j.techfore.2020.120343.
2. Trends in the development of artificial intelligence and AI-based digital technologies until 2030. <https://www.sbs-consulting.ru/upload/iblock/985/a1asjblh8uh1n2p2mbm04fcota6qu0gq.pdf>
3. Dorokhin, S. V. Innovative digital technologies in the field of transport as a modern global development trend / S. V. Dorokhin, N. A. Azarova // Prospects for development, innovations, and information technologies in transport : Materials of the International Youth Scientific and Practical Conference, Voronezh, October 17–18, 2024. – Voronezh: G.F. Morozov Voronezh State Forestry University, 2024. – Pp. 140-144. – DOI 10.58168/DPIITT2024\_140-144

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОПТИМИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ МАРШРУТОВ

А.Р. Глушанков<sup>1</sup>, С.В. Дорохин<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,  
г. Воронеж, Россия

<sup>1</sup> glushankov2000@inbox.ru

<sup>2</sup> dsvvrn@yandex.ru

**Аннотация.** Приведены основные направления к применению искусственного интеллекта в системах транспорта, указаны главные методы и алгоритмы, применяемые в оптимизации транспортных маршрутов, описаны главные преимущества и недостатки внедрения искусственного интеллекта в сферу транспортной логистики.

**Ключевые слова:** транспорт, искусственный интеллект, логистика, алгоритм, перевозка, программа, груз, маршрут, анализ.

## PROSPECTS FOR APPLYING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN OPTIMIZING TRANSPORT ROUTES

A.R. Glushankov<sup>1</sup>, S.V. Dorokhin<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov,  
Voronezh, Russia

<sup>1</sup> glushankov2000@inbox.ru

<sup>2</sup> dsvvrn@yandex.ru

**Abstract.** The article presents the main areas of application of artificial intelligence in transport systems, identifies the main methods and algorithms used to optimize transport routes, and describes the key advantages and disadvantages of implementing artificial intelligence in transport logistics.

**Keywords:** transport, artificial intelligence, logistics, algorithm, transportation, program, cargo, route, analysis.

На современном этапе транспортно-логистические системы вынуждены постоянно адаптироваться к увеличению объемов перевозок, ужесточению требований к скорости и качеству доставки, а также к необходимости минимизации издержек и совершенствования логистических процессов. Одним из ключевых инструментов повышения эффективности логистики является оптимизация процедур построения транспортных маршрутов. Рационально организованная система маршрутизации позволяет значительно сократить сроки доставки грузов или пассажиров и рационализировать затраты, связанные с перевозками.

Внедрение технологий искусственного интеллекта в транспортную отрасль привело к появлению новых эффективных методов решения задачи маршрутизации. Современные системы на основе искусственного интеллекта способны обрабатывать большие объемы данных, включая дорожные характеристики, техническое состояние транспорта, расписания, а также внешние факторы, влияющие на перевозки. В данной работе рассматриваются примеры использования интеллектуальных программных

комплексов для совершенствования построения транспортных маршрутов и проводится сравнительный анализ их результативности по сравнению с классическими алгоритмами планирования [2, 3].

Рассмотрим отдельные примеры интеграции искусственного интеллекта в практику транспортной логистики. В ряде крупных городов Российской Федерации специализированные организации общественного транспорта внедряют технологии искусственного интеллекта для оптимизации движения автобусов и троллейбусов с учетом таких параметров, как интенсивность трафика, пассажиропотоки и расписания движения.

Популярные агрегаторы такси, среди которых Uber и Яндекс.Такси, используют искусственный интеллект для оперативного формирования оптимальных маршрутов, динамического ценообразования и прогнозирования времени прибытия автомобиля. Эти сервисы анализируют в режиме реального времени дорожную обстановку, погодные условия, суточные циклы, наличие дорожных работ, а также распределение заказов и доступных водителей – что позволяет предоставлять клиентам наиболее эффективные варианты поездок.

В автомобильной промышленности компания Tesla интегрирует собственные модули искусственного интеллекта для планирования путей движения с одновременным прогнозом остаточного заряда аккумулятора. Система учитывает расположение зарядных станций, скоростной режим, временные интервалы и другие важные параметры для выработки оптимальных сценариев маршрута и подзарядки автомобиля. Подобные решения развивают ведущие мировые автопроизводители, в т.ч. Audi.

В сфере грузовой логистики транснациональные компании DHL и FedEx активно применяют интеллектуальные технологии для анализа характеристик перевозимых грузов, состояния автопарка, дорожной информации и особенностей выполнения заказов. Такие подходы позволяют существенно повысить скорость доставки и снизить логистические расходы благодаря точному планированию транспортных операций.

Таким образом приведенные примеры ясно демонстрируют тенденцию широкого внедрения технологий искусственного интеллекта в процессы транспортной маршрутизации - что способствует заметному повышению эффективности работы логистических систем [1, 2].

Для анализа основных направлений развития искусственного интеллекта в области оптимизации транспортно-логистических маршрутов важно рассмотреть ключевые современные технологии, применяемые в этой сфере. Одним из перспективных инструментов является мультиагентное моделирование: множество виртуальных агентов, представляющих различные виды транспорта, на основе обмена информацией друг с другом и с внешней средой способны быстро адаптироваться к текущей дорожной ситуации, выбирая наиболее эффективные маршруты. Существенный прогресс достигнут благодаря использованию алгоритмов машинного обучения, способных анализировать огромные объемы данных о движении транспорта и строить прогнозные модели для определения оптимальных схем передвижения; сюда относятся методы глубокого обучения [4].

Для решения задач распределения потоков движения и выбора выгодных маршрутов применяют динамическое программирование – оно эффективно перебирает возможные сценарии перемещений с целью подобрать наилучший вариант для каждого участника перевозки. Генетические алгоритмы также широко используются: они опираются на принципы естественного отбора для формирования решений по планированию маршрутов - лучшие варианты сохраняются, а новые модифицированные стратегии периодически вводятся через механизмы мутаций и селекции. К

эволюционным подходам относят также методы с элементами случайного поиска и адаптации к условиям среды.

Технологии кластеризации позволяют группировать транспортную информацию по заданным признакам (например, типу груза или временным интервалам), что облегчает построение более рациональных маршрутов внутри выделенных группировок. Все эти инструменты актуальны не только для легковых автомобилей - они успешно применяются при оптимизации грузоперевозок автомобильным транспортом, автобусными линиями, железнодорожными маршрутами и авиаперевозками. Особенно востребованы подобные решения при формировании мультимодальных логистических схем с одновременным использованием различных видов транспорта.

Эффективность каждого технологического подхода зависит от особенностей поставленной задачи, архитектуры транспортной системы и структуры исходных данных. Существуют определенные вызовы внедрения инновационных технологий: значительные затраты на начальном этапе реализации проектов искусственного интеллекта; необходимость подготовки специалистов для работы с новыми цифровыми системами; риски некорректной работы вследствие недостаточной или ошибочной исходной информации. Критически важны меры по обеспечению безопасности персональных данных пользователей транспортных сервисов [3].

Внедрение интеллектуальных методов обеспечивает целый ряд преимуществ: автоматизированное планирование позволяет существенно оптимизировать логистические процессы – это ведет к сокращению времени доставки товаров и снижению расходов на топливо за счет уменьшения пробега транспорта. Использование интеллектуальных систем управления способствует совершенствованию складских операций за счет роботизации обработки заказов и минимизации ручного труда сотрудников предприятий отрасли. В результате предприятия получают возможность одновременно повысить качество обслуживания клиентов при одновременном снижении операционных затрат на всех этапах транспортно-логистической цепочки.

Автоматизация складских процессов с использованием современных технологических решений позволяет выполнять заказы более точно, одновременно существенно сокращая затраты времени (данное обстоятельство с точки зрения работы складов имеет повышенное значение). Кроме того, современные алгоритмы анализируют данные о прошлых продажах, учитывают сезонные колебания и другие факторы, инструменты машинного обучения играют ключевую роль в прогнозировании спроса, что, однако, не следует рассматривать в качестве единственного направления автоматизации на складах. В данном отношении необходимо упомянуть, что оптимизировать перемещение продукции внутри склада, ускорять сбор заказов, обеспечивать более эффективный контроль остатков и добиваться иных положительных результатов позволяет применение такого современного технологического решения, как роботизированные платформы, внедрение которых сегодня осуществляется достаточно высокими темпами во многих компаниях [2].

Немаловажным, по оценкам специалистов транспортно-логистической сферы, является персонификация рекомендаций на основе анализа поведенческих характеристик клиентов, успешно зарекомендовавшая себя на практике, реализуемая посредством интеллектуальных систем, которые системы обрабатывают историю покупок каждого пользователя и формируют индивидуальные предложения, ориентированные на предоставление наиболее интересных и актуальных товаров или услуг.

Значимым практическим результатом внедрения искусственного интеллекта является организация непрерывного мониторинга состояния автопарка с помощью нейронных сетей. Сенсорное оборудование транспортных средств фиксирует ряд

эксплуатационных параметров основных узлов - таких как двигатель или тормозная система - позволяя интеллектуальной системе выявлять потенциальные неисправности на ранних стадиях. При обнаружении отклонений автоматизированная система информирует водителя или технический персонал о необходимости профилактического обслуживания, что способствует предотвращению аварийных ситуаций и сокращает число внеплановых простоев.

Приведенные примеры демонстрируют стратегическую значимость искусственного интеллекта как инструмента обеспечения устойчивости и повышения эффективности работы предприятий транспортно-логистической отрасли. Интеграция интеллектуальных технологий позволяет оптимизировать расходы, совершенствовать внутренние процессы компании и улучшать качество обслуживания клиентов при одновременном снижении производственных рисков - факторов, влияющих на динамику развития организации и ее конкурентоспособность [1, 3].

Резюмируя представленный ранее анализ, следует отметить: применение искусственного интеллекта предоставляет транспортным компаниям существенные преимущества при модернизации логистических процессов. Однако для успешной реализации таких решений необходимо учитывать существующие ограничения, связанные с эксплуатацией технологий и их интеграцией в действующую инфраструктуру.

В целом автоматизация операций и внедрение интеллектуальных методов оптимизации маршрутизации открывают новые перспективы для дальнейшего развития сектора - обеспечивают значительное сокращение временных затрат и расхода ресурсов, а также приводят к заметному росту эффективности логистических и транспортных операций.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арифджанова, Н. З. Инновационные концепции развития логистических услуг по перевозке и складированию грузов // Научный журнал «A Posteriori». – 2015. – С. 23.
2. Карпова Ю. А., Соколов Н. Н. Цифровые технологии по оценке персонала в управлении и образовании: настоящее состояние и перспективы // Редакционная коллегия. – 2019. – С. 104.
3. Дерябина Л. В., Скитецкая В. В. Складская логистика: способы управления и оптимизации // Вопросы устойчивого развития общества Учредители: ООО «Институт развития образования и консалтинга». – №. 4. – С. 365-371.
4. Глинин Д. Ю., Черницкая А. Ю., Перпери А. М. Искусственный интеллект в формировании умных городов. – 2020.

## REFERENCES

1. Arifjanova, N. Z. Innovative Concepts for the Development of Logistics Services for Freight Transportation and Warehousing // Scientific Journal «A Posteriori». - 2015. - P. 23.
2. Karpova Yu. A., Sokolov N. N. Digital Technologies for Personnel Assessment in Management and Education: Current Status and Prospects // Editorial Board. - 2019. - P. 104.
3. Deryabina L. V., Skitetskaya V. V. Warehouse Logistics: Management and Optimization Methods // Issues of Sustainable Development of Society. Founders: Institute for Education Development and Consulting, LLC. - No. 4. - P. 365-371.
4. Glinin D. Yu., Chernitskaya A. Yu., Perperi A. M. Artificial Intelligence in the Formation of Smart Cities. - 2020.



## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА В ПЕРЕДВИЖНЫХ ЭЛЕКТРОАГРЕГАТАХ АПА–5Д И АПА–100

Н.А. Пеньков<sup>1</sup>, М.А. Прокофьев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, Россия, myth\_np\_nikit@mail.ru

<sup>2</sup> Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, Россия, maks.prokofev04@mail.ru

**Аннотация.** Передвижные электроагрегаты (АПА) являются важным элементом наземного обеспечения авиационной техники, обеспечивая электростартерный запуск двигателей и питание бортовых систем. АПА–5Д и АПА–100, построенные на шасси Урал–4320, представляют собой примеры советской и российской инженерной школы. Важное различие между ними заключается в системах автоматического регулирования напряжения переменного тока (АСР ПТ): АПА–5Д использует магнитные усилители, характерные для технологий 1960–1970-х годов, тогда как АПА–100 оснащена более современной импульсной системой на базе триггера Шмитта. В данной статье мы сравним принципы работы этих систем, их преимущества и недостатки, а также оценим перспективы их развития в контексте современных требований к надежности, эффективности и интеграции с цифровыми технологиями.

**Ключевые слова:** Передвижные электроагрегаты, система автоматического регулирования, магнитные усилители, широтно-импульсная модуляция.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF AUTOMATIC AC REGULATION SYSTEMS IN MOBILE ELECTRICAL UNIT APA–5D AND APA–100

N.A. Penkov<sup>1</sup>, M.A. Prokofiev<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Military Educational and Scientific Center of the Air Force «Zhukovsky and Gagarin Air Force Academy», Voronezh, Russia, myth\_np\_nikit@mail.ru

<sup>2</sup> Military Educational and Scientific Center of the Air Force «Zhukovsky and Gagarin Air Force Academy», Voronezh, Russia, maks.prokofev04@mail.ru

**Abstract.** Mobile power units (MPUs) are an important element of ground support for aviation equipment, providing electric starting of engines and power supply for onboard systems. MPUs–5D and MPUs–100, built on the Ural–4320 chassis, are examples of the Soviet and Russian engineering school. An important difference between them lies in the AC voltage automatic control systems (ACVCS): the APA–5D uses magnetic amplifiers, which are typical of the technologies of the 1960s and 1970s, while the APA–100 is equipped with a more modern pulse system based on the Schmitt trigger. In this article, we will compare the principles of operation of these systems, their advantages and disadvantages, and assess their development prospects in the context of modern requirements for reliability, efficiency, and integration with digital technologies.

**Keywords:** mobile power units, automatic control system, magnetic amplifiers, pulse-width modulation.

Рассмотрим принципы работы систем автоматического регулирования напряжения постоянного тока (САР ПТ). Система на магнитных усилителях (АПА–5Д).

Магнитный усилитель (МУ) — это электромагнитное устройство, использующее нелинейные свойства ферромагнитных материалов для усиления или преобразования электрических сигналов. В АПА–5Д магнитный усилитель интегрирован в цепь возбуждения синхронного генератора ГТ40ПЧ6, обеспечивая стабилизацию напряжения 115/200 В при частоте 400 Гц и мощности выдаваемого тока до 40 кВА. Управляющий сигнал от датчика напряжения изменяет магнитное насыщение сердечника, что модулирует ток в обмотках. Регулирование осуществляется за счет изменения полного сопротивления переменному току без использования электронных компонентов. Основные элементы системы включают трехфазный магнитный усилитель в релейном режиме, фильтры и обратную связь по напряжению. Основные характеристики представленной системы: стабилизация напряжения в пределах  $\pm 2\text{--}3\%$  от номинального значения при нагрузке от 0 до 100% до значения, заявленного в паспорте на рассматриваемый электроагрегат, время реакции составляет 0.1–0.5 с [1].

Импульсная система регулирования в АПА–100 использует электронику для широтно–импульсной модуляции (ШИМ) в цепи возбуждения генератора мощностью до 100 кВт. Центральным элементом является триггер Шмитта — электронная схема, которая преобразует изменяющийся аналоговый сигнал в стабильный цифровой сигнал (прямоугольные импульсы) за счет использования явления гистерезиса, то есть разных порогов переключения для нарастающих и спадающих сигналов. Датчик напряжения сравнивается с опорным сигналом, а триггер Шмитта генерирует импульсы, управляющие тиристорами или транзисторами для регулировки средней мощности. Система включает триггер на базе операционных усилителей или логических микросхем (например, К155ЛА3), фильтры для сглаживания и, в модернизированных версиях, микроконтроллеры для реализации логических операций. Характеристики такого электроагрегата: стабилизация напряжения  $\pm 1\%$  от номинального значения, время реакции составляет порядка 10–50 мс, обеспечение корректной работы потребителей, при величине нагрузок, достигающей до 100 кВт [2]. Сравнение параметров систем САР ПТ АПА–5Д и АПА–100 представлены в таблице 1.

Таблица 1 Сравнение параметров систем АСР ПТ АПА–5Д и АПА–100  
Table 1. Comparison of APA–5D and APA–100 AVR System Parameters

Параметр	АПА–5Д	АПА–100
Мощность переменного тока	До 40 кВА	До 100 кВт
Точность регулирования	$\pm 2\text{--}3\%$	$\pm 1\%$
Время реакции	0,1–0,5 с	10–50 мс
Размер и вес	Большие, тяжелые	Компактные
Энергоэффективность	70–80% (потери на нагрев)	90–95% (минимальные потери)
Надежность в экстремальных условиях	Высокая (устойчивость к вибрациям и электромагнитным помехам)	Средняя (чувствительность к ЕМІ).
Стоимость производства	Низкая (простая конструкция)	Средняя (сложная электроника)
Интеграция с цифровыми системами	Ограниченная	Высокая (легко интегрируется с микроконтроллерами).

Для проведения качественного сравнительного анализа перспективы модернизации представленных электроагрегатов рассмотрим их преимущества и недостатки в совокупности. магнитных усилителей (АПА–5Д) [3].

Преимущества использования конструкции на базе МУ:

- отсутствие подвижных частей и полупроводников обеспечивает высокую надежность (срок службы более 20 лет);
- устойчивость к перегрузкам и радиации, что делает систему идеальной для военных и аэродромных условий.
- простота конструкции: минимальное обслуживание и низкая стоимость производства.

Недостатки:

- низкая скорость и точность регулирования, что ограничивает применение при динамичных нагрузках;
- значительные габариты и вес (до 10 тонн для АПА–5Д), усложняющие транспортировку;
- низкая энергоэффективность из-за потерь на гистерезис и нагрев.

Достоинства и недостатки использования импульсных систем с триггером Шмитта (АПА–100).

Преимущества:

- быстрое реагирование на изменения нагрузки, поддержка больших мощностей;
- снижение веса агрегата и упрощение монтажа;
- возможность модернизации для цифрового управления.

Недостатки:

- триггер Шмитта чувствителен к электромагнитным помехам. Он подавляет шумы, но требует экранирования;
- большое количество электронных компонентов увеличивает риск отказов от перегрева или вибраций;
- полупроводники быстро устаревают, требуя замены.

Технология магнитных усилителей достигла своего пика в 1970–1980–х годах и сегодня считается устаревшей для большинства применений. Однако, преимущество их использования неоспоримо. Этому свидетельствуют следующие достоинства:

- добавление современных датчиков и цифровых фильтров (как в АПА–5ДМ–120) может повысить точность регулирования;
- магнитные усилители сохраняют актуальность в условиях сильных электромагнитных помех или высоких температур (например, в атомной энергетике или космосе). Исследования наноферритовых материалов открывают возможности для миниатюризации;
- низкое энергопотребление в режиме ожидания делает их привлекательными для энергоэффективных систем.

Тем не менее, всё указывает на постепенное замещение магнитных усилителей цифровыми решениями.

Импульсные системы на базе триггера Шмитта представляют собой основу современной электроники с большим потенциалом развития [4]:

интеграция с микроконтроллерами (например, Arduino, STM32) позволяет внедрять предиктивную диагностику и удаленный мониторинг. В АПА–100–СА уже используются двигатели ЯМЗ–536 с электронным управлением.

Переход на транзисторы из нитрида галлия (GaN) может повысить КПД до 98% и обеспечить мощность до 200 кВт и выше для питания электросамолетов. Триггер Шмитта может служить базовым элементом для адаптивных алгоритмов, прогнозирующих отказы и оптимизирующих работу под нагрузку.

АПА–5Д с магнитными усилителями остается надежным решением для экстремальных условий, но его перспективы ограничены из-за устаревания технологии. АПА–100 с импульсными системами на базе триггера Шмитта демонстрирует более высокую динамику, точность и потенциал для интеграции с цифровыми решениями, что делает его предпочтительным в условиях цифровой трансформации [5]. Будущее передвижных электроагрегатов связано с гибридными системами, сочетающими надежность магнитных усилителей с высокой скоростью и адаптивностью электроники. В авиационной отрасли это означает переход к «умным» аэродромным передвижным электроагрегатам с элементами искусственного интеллекта, где импульсные системы будут доминировать. Рекомендуется модернизация существующего парка АПА для повышения энергоэффективности, что позволит соответствовать современным требованиям и продлить срок службы техники. Потенциала в этом направлении, как было показано выше, у автомобиля АПА-100У значительно больше [6].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булгаков, А.А. Электронные устройства автоматизации. М.: Наука, 1978. – 208 с.
2. Веников, В.А. Теория магнитных усилителей. М.: Энергия, 1970. – 240 с.
3. Ключев В.И. Теория электропривода: учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.
4. Розенблат, М.А. Магнитные усилители с самонасыщением. М.—Л., Госэнергоиздат, 1963, 123 с. с черт. («Библиотека по автоматике», выпуск 75).
5. Средства электроснабжения воздушных судов: учебник/Скребов Н.Н., Тюнин А.Б., Шуклин И.К. – Воронеж: Вунц ВВС «ВВА», 2021. – 393 с.
6. Чижено, И.М. Автоматизация систем электроснабжения. М.: Высшая школа, 1987. – 336 с.

### REFERENCES

1. Bulgakov, A.A. Electronic Automation Devices. Moscow: Nauka, 1978. – 208 p.
2. Venikov, V.A. Theory of Magnetic Amplifiers. Moscow: Energiya, 1970. – 240 p.
3. Klyuchev, V.I. Theory of Electric Drive: Textbook for Universities. Moscow: Energoatomizdat, 1985. – 560 p.
4. Rosenblat, M.A. Magnetic amplifiers with self-saturation. M.—L., Gosenergoizdat, 1963, 123 p. with drawings. («Automation Library», issue 75).
5. Means of aircraft power supply: textbook/Skrebotov N.N., Tyunin A.B., Shuklin I.K. – Voronezh: Vunts VVS «VVA», 2021. – 393 p.
6. Chizhenko I.M. Automation of Power Supply Systems. Moscow: Vysshaya Shkola, 1987. – 336 p.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ АВТОСЕРВИСА ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ БЛОКА ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ

А.С. Гришин<sup>1</sup>, В.И. Сарбаев<sup>2</sup>, Джованис Симос<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», г. Москва, Россия,

<sup>1</sup> agrishin@business-car.ru

<sup>2</sup> visarbaev@gmail.com

<sup>3</sup> singmanos@yahoo.com

**Аннотация.** В статье рассматривается проблема повышения эффективности деятельности мультибрендового автосервиса с использованием имитационного моделирования. Большинство имитационных моделей автосервиса не учитывают реальные проблемы обеспечения запасными частями и работают в режиме «идеального склада». Предложено и реализовано решение путем интеграции в имитационную модель блока, учитывающего вероятность наличия запчастей на складе и задержки, связанные с их поставкой. Разработана концептуальная и компьютерная модель в среде AnyLogic, позволяющая проводить комплексный анализ производственных процессов автосервиса в условиях, приближенных к реальным. Модель учитывает особенности обслуживания различных брендов и корпоративных клиентов, а также использование современных средств автоматизации.

**Ключевые слова.** Автосервис, техническое обслуживание и ремонт, имитационное моделирование, система массового обслуживания, управление запасами, запасные части, цифровой двойник, AnyLogic, производственные процессы.

## IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE CAR SERVICE SIMULATION MODEL BY IMPLEMENTING THE SPARE PARTS BLOCK

A.S. Grishin<sup>1</sup>, V.I. Sarbaev<sup>2</sup>, Tziovannis Simos<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia,

<sup>1</sup> agrishin@business-car.ru

<sup>2</sup> visarbaev@gmail.com

<sup>3</sup> singmanos@yahoo.com

**Abstract.** The article addresses the problem of improving the efficiency of a multi-brand car service through simulation modeling. Particular attention is paid to the shortcomings of existing models that ignore the real challenges of spare parts supply and operate in an «ideal warehouse» mode. A solution is proposed and implemented by integrating a special module into the simulation model that accounts for the probability of spare parts availability in the warehouse and delays associated with their delivery. A conceptual and computer model developed in the AnyLogic environment allows for a comprehensive analysis of the car service production processes under near-real conditions. The model considers the specifics of servicing different brands and corporate clients, as well as the use of modern automation tool.

**Keywords:** Car service, maintenance and repair, simulation modeling, queueing system, inventory management, spare parts, digital twin, AnyLogic, production processes.

В современных условиях разработка и практическое применение имитационных моделей для повышения эффективности автосервиса получает всё более широкое распространение. Ввиду санкционных ограничений данный тренд только укрепился, поскольку выживаемость автосервисов в настоящее время во многом зависит от оптимизации издержек на всех этапах работы предприятия, выявления узких мест производственных процессов, гибкости в принятии управленческих решений, а также от повышения клиентского сервиса в целом и готовности предприятия к новым вызовам таким как цифровая трансформация и внедрение новых технологий, как в конструкции транспортных средств, так и современных средств автоматизации и роботизации производственных процессов автосервиса.

Также в условиях санкционных ограничений предприятия автосервиса вынуждены были экстренно переориентироваться на новые марки автомобилей, продолжая обслуживать парки брендов, ушедших с рынка.

Особую актуальность в настоящее время приобрела проблема обеспечения запасными частями. Решением данной проблемы занимались многие исследователи. Однако, значительная часть работ опиралась на данные по предыдущего спроса на запасные части и не учитывала особенности входящего потока заявок. Другие авторы в своих исследованиях учитывали деятельность автосервиса. Например, в работе [1] разработана имитационная модель для оптимизации системы логистики и управления запасами, модель создана как целостная имитационная система, где спрос не является внешним параметром, а рождается внутри модели на основе имитации первичной деятельности автосервиса. Вместе с тем практическое применение, данное модели, может быть затруднено при обслуживании разномарочного парка поскольку модель требовательна к исходным по отказам конкретных моделей автомобилей.

В деятельности мультибрендового автосервиса хранение значительных объемов запасов увеличивает риски затоваривания склада, по сравнению с монобрендовыми предприятиями. В данном случае важнее обеспечить скорость поставки запасных частей со склада поставщиков, требуемого качества и стоимости [2].

Модели производственного процесса автосервиса не учитывающие проблемы обеспечения запасными частями, не являются полноценным цифровым двойником автосервиса и работают в режиме «идеального склада», когда требуемая запасная часть всегда есть в наличии [3], [4]. Вместе с тем, данные модели могут служить для принятия решений по количеству рабочих постов, количеству механиков и другим параметрам автосервиса.

Таким образом, имитационная модель автосервиса должна содержать в себе комплексное решение данных актуальных проблем.

В то же время имитационная модель должна учитывать современные средства автоматизации, такие как автоматические мойки, киоски приёма выдачи автомобилей.

Построим концептуальную модель автосервиса, обслуживающего 3 основных бренда, а также осуществляющего обслуживание корпоративных парков, для которых обязательным условием является прием автомобиля сервисным консультантом (без использования киоска самообслуживания). (Рисунок 1.)

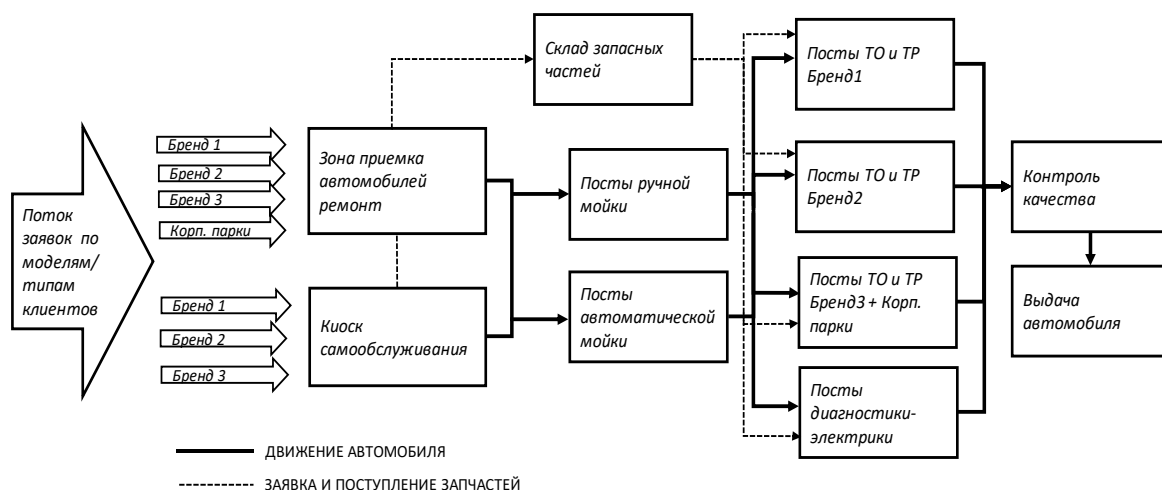


Рисунок 1 – Структурная схема концептуальной модели мультибрендового автосервиса  
 Figure 1 – Structural diagram of a multi-brand car service conceptual model.

Поток заявок направляется в зону приёма автомобилей, где распределяется между киосками самообслуживания и классической приемкой в автосервис, далее автомобили поступают в зону мойки, где происходит их распределение между постами ручной и автоматической мойки (в зависимости от типа заявки и пожеланий клиента), далее происходит распределение по рабочим постам ТО и ТР и диагностики. Параллельно (в зависимости от типа ремонта) производится подбор необходимых запасных частей и выдача их на посты обслуживания. После завершения работ все автомобили проходят контроль качества и поступают в зону выдачи автомобиля.

На основе концептуальной модели построим компьютерную модель автосервиса. Для построения используем систему моделирования Anylogic, рекомендуемую для систем массового обслуживания (Рисунок 2.)

Модель повторяет структуру концептуальной модели. Основными производственными участками являются ТО и ТР и диагностика. Автосервис не оказывает услуг ремонта агрегатов, все остальные работы (кроме диагностических) осуществляются на постах ТО и ТР.

Данная модель кроме анализа эффективности работы всех производственных участков позволяет задавать вероятность нахождения запасной части на складе, а также выбрать закон распределения времени задержки автомобиля в автосервисе в ожидании запчастей (на основании опыта предыдущих исследований в настоящей модели выбран экспоненциальный закон). При наличии детали на складе, задержка поставки равна 0.

Интервалы времени между поступлениями автомобилей на станцию распределены по закону Вейбулла, интервалы времени приемки, мойки имеют нормальный закон распределений, время нахождения автомобиля в ремонте подчинено экспоненциальному закону.

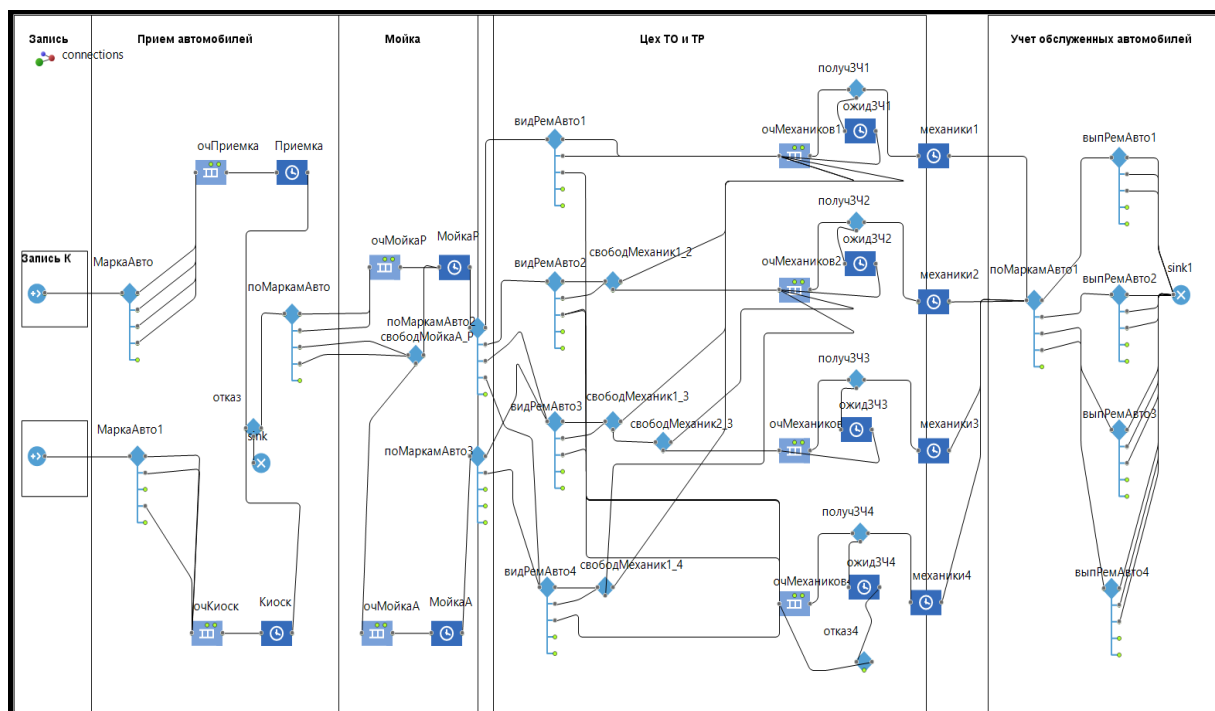


Рисунок 2. Компьютерная имитационная модель автосервиса  
Figure 2. Computer simulation model of a car service center

Модель позволяет задавать приоритетность в обслуживании марок (в данном случае приоритеты расставлены в порядке убывания (1 – высокий приоритет, 3 – наименьший). Приоритезация также должна быть учтена в работе реального автосервиса.

Время задержки автомобилей в ожидание запасных частей подчинено экспоненциальному закону. Модель позволяет задавать вероятность нахождения запасной части на складе.

Модель была апробирована в условиях реального автосервиса, проведенные эксперименты показали целесообразность её использования для повышения эффективности производственных процессов. Модель может быть использована в качестве элемента периодической комплексной оценки эффективности предприятия, в то же время она может использоваться для решения прикладных задач повышения эффективности предприятия автосервиса.

1. Ключевым недостатком существующих имитационных моделей автосервиса является их работа в режиме «идеального склада». Что касается специализированных моделей управления запасами, то их основными недостатками выступают высокие требования к исходным данным по отказам конкретных моделей автомобилей. Данный подход более оправдан для монобрендового сервиса, однако затрудняет применение таких моделей для обслуживания разномарочного парка.

2. Разработанная имитационная модель позволяет моделировать реальные задержки, связанные с ожиданием запчастей, и анализировать их влияние на общие производственные процессы. Модель охватывает не только стандартные производственные участки автосервиса (ТО и ТР, диагностика), но и современные элементы автоматизации (автоматические мойки, киоски самообслуживания), а также различные сценарии обслуживания (частные и корпоративные клиенты).

3. Разработанная модель представляет собой комплексный «цифровой двойник» автосервиса, позволяющий использовать модель как элемент комплексной оценки



эффективности автосервиса и принимать обоснованные управленческие решения по оптимизации численности персонала, количества постов, логистики и управления запасами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бугримов В.А., Кондратьев А.В., Сарбаев В.И. Моделирование процессов управления запасами предприятия автосервиса / Бугримов Виталий, Кондратьев Алексей, Сарбаев Владимир // Научное обозрение. Изд.: Издательский дом «Наука образования» Москва. - 2017, №8. - С. 63-67.
2. Гришин А.С. Учет влияния качества и стоимости запасных частей в управлении запасами автосервиса / А. С. Гришин, В. И. Сарбаев, С. Джованис, А. Г. Гусев // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – № 3-5(78). – С. 120-127. – DOI 10.33979/2073-7432-2022-5(78)-3-120-127. – EDN PTOWCM.
3. Тимченко, В. С. Структура имитационной модели автосервиса / В. С. Тимченко // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2016. – Т. 6, № 2. – С. 46-50.
4. Хабибуллин, Р. Г. Имитационное моделирование автосервиса / Р. Г. Хабибуллин, И. В. Макарова // Мир транспорта. – 2008. – Т. 6, № 3(23). – С. 110-115.

#### REFERENCES

1. Bugrimov V.A., Kondratiev A.V., Sarbaev V.I. Modeling of inventory management processes of a car service enterprise / Bugrimov Vitaly, Kondratiev Alexey, Sarbaev Vladimir // Scientific review. Publishing house «Science of Education» Moscow. - 2017, No. 8, pp. 63-67.
2. Grishin A.S. Accounting for the impact of quality and cost of spare parts in car service inventory management / A. S. Grishin, V. I. Sarbaev, S. Giovanis, A. G. Gusev // The world of transport and technological machines. – 2022. – № 3-5(78). – Pp. 120-127. – DOI 10.33979/2073-7432-2022-5(78)-3-120-127. – EDN PTOWCM.
3. Timchenko, V. S. The structure of a car service simulation model / V. S. Timchenko // Modern problems of the Russian transport complex. – 2016. – Vol. 6, No. 2. – pp. 46-50.
4. Khabibullin, R. G. Simulation modeling of a car service / R. G. Khabibullin, I. V. Makarova // The world of transport. - 2008. – Vol. 6, No. 3(23). – pp. 110-115.

**АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ  
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В УСЛОВИЯХ НИЗКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ  
ПРИЁМА ДАННЫХ ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ  
СИСТЕМ**

А.А. Башмаков <sup>1</sup>, С.С. Евтюков <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,  
г. Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Анатолий Алексеевич Башмаков, sevtyukov@lan.spbgasu.ru

**Аннотация.** В статье проводится анализ существующих методов определения текущего местоположения транспортных средств без использования данных глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). По итогу анализа определяются оптимальные условия для применения различных методов в зависимости от типа транспортных средств и качества приёма данных ГНСС с целью обеспечения стабильной работы систем управления транспортом.

**Ключевые слова:** транспорт, бортовое навигационно-связное оборудование, телематика, пассажирские перевозки, определение местоположения, интеллектуальные транспортные системы.

**ALTERNATIVE METHODS FOR DETERMINING THE LOCATION OF VEHICLES  
IN CONDITIONS OF LOW STABILITY OF DATA RECEPTION OF GLOBAL  
NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS**

A.A. Bashmakov <sup>1</sup>, S.S. Yevtyukov <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,  
St. Petersburg, Russia,

The author responsible for the correspondence: Anatoly Alekseevich Bashmakov,  
sevtyukov@lan.spbgasu.ru

**Abstract.** the article analyzes the existing methods for determining the current location of vehicles without using data from global navigation satellite systems (GNSS). As a result of the analysis, optimal conditions are determined for the use of various methods, depending on the type of vehicles and the quality of GNSS data reception, in order to ensure stable operation of transport management systems.

**Keywords:** transport, on-board navigation and communication equipment, telematics, passenger transportation, location determination, intelligent transport systems.

**Введение.** Интеллектуальные транспортные системы (ИТС) на сегодняшний день являются приоритетным направлением научно-технического развития согласно Указу Президента РФ от 18.06.2024 № 529 «Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоёмких технологий». При этом, сервисная группа «Общественный транспорт», являются одной из ключевых

элементов ИТС городской агломерации и обеспечивает управление общественным транспортом [1].

Сервисная группа ИТС «Общественный транспорт» включает в себя широкий круг задач, как по управлению самим пассажирским транспортом, организации и управлению перевозок пассажиров, информирования пассажиров и др. [2]. Однако, снижение стабильности приёма данных глобальных навигационных спутниковых систем является критическим фактором, препятствующим эффективной работе указанных сервисов, например:

- При управлении пассажирским транспортом необходимо обладать достоверными данными о текущем местоположении, скорости и направлении движения подвижного состава, работающего на маршруте, для определения интервалов движения транспортных средств, выявления заторов и т.д.;

- Для информирования пассажиров о времени прибытия транспортного средства к остановке, необходимо обладать данными о текущем местоположении транспортных средств, работающих на определённом маршруте;

- Для повышения эффективности систем мониторинга пассажиропотока, необходимо фиксировать количество вошедших/вышедших пассажиров к текущему местоположению транспортного средства с целью определения наиболее нагруженных перегонов на маршруте.

В соответствии со сказанным выше, наличие достоверной информации о текущем местоположении транспортных средств является критическим фактором, обеспечивающим стабильность работы пассажирского транспорта общего пользования.

**Анализ и методы.** Глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС) – это система, предназначенная для определения местоположения различных объектов, составляющих вектора скорости и направления движения, а также синхронизации показаний часов приёмника сигналов ГНСС в любой точке на поверхности Земли, акватории Мирового океана, воздушного и околоземного космического пространства. Принцип работы ГНСС основан на измерении расстояния до спутников на орбите Земли, расположение которых заранее известно с большой точностью, на основе данных о задержке поступления сигналов [3].

В условиях низкой стабильности приёма данных ГНСС необходимо обеспечивать альтернативные методы определения местоположения транспортного средства, основанные на различных технологиях.

*Использование меток с записанными данными о собственном местоположении.* В случае периодического отсутствия данных ГНСС, вдоль трассы следования транспортных средств могут быть установлены специализированные метки. Наиболее распространены метки на основе технологии радиочастотной идентификации (RFID) и Bluetooth с низким энергопотреблением (BLE).

Современные метки включают в себя:

- Встроенная энергонезависимая память;
- Интегральную схему для управления памятью;
- Антенну для приёма и передачи данных;
- Встроенный источник питания (в случае использования меток с активной передачей данных);
- Корпус для защиты от внешних факторов.

В таблице 1 приведено сравнение меток двух технологий по основным эксплуатационным характеристиками.

Таблица 1 – Сравнение RFID и BLE меток  
Table 1 – Comparison of RFID and BLE tags

Наименование показателя	Значение для RFID	Значение для BLE
Диапазон рабочих частот	860-960 МГц	2,4 ГГц
Дистанция считывания	до 10 м	до 50 м
Скорость передачи данных	до 128 кбит/с	до 1 Мбит/с
Тип памяти	R/W – чтение и запись	R/W – чтение и запись
Объем памяти	от 256 бит	256 Кб
Класс защиты от влаги и пыли	до IP69K	до IP69K
Срок службы	5-10 лет	5-10 лет

Не смотря на схожесть характеристик RFID и BLE меток, основным различием между двумя технологиями является дистанция считывания информации, которая может интерпретироваться как достоинство или недостаток.

Низкая дистанция считывания RFID меток требует более точного позиционирования антенны и строго определённой траектории движения транспортного средства, однако обеспечивает относительно низкую погрешность для данного метода определения местоположения (до 20 метров).

Большая дистанция считывания BLE меток обеспечивает стабильность работы в условиях изменчивой траектории движения транспортного средства, снижает требования к расположению считывателя, однако имеет относительно большую погрешность определения местоположения (до 100 метров).

*Использование существующих сетей связи.* В качестве альтернативного источника данных о местоположении транспортного средства в случае полного отсутствия данных с ГНСС возможно использование различных геолокационных сервисов с использованием базовых станций сетей сотовой мобильной связи или точек доступа Wi-Fi, расположение которых известно заранее.

С целью решения задач по определению местоположения мобильных объектов в системах сотовой связи четвёртого поколения (LTE) используются методы пространственной обработки сигналов базовых станций, разностно-дальномерные методы, методы определения угла направления сигнала и т.д.

Наиболее подходящим методом для определения местоположения транспортного средства является разностно-дальномерный метод, в основе которого лежит определение координат подвижного объекта за счёт измерения расстояния до нескольких базовых станций по разности времени прихода сигнала (Time difference of arrival, TDoA). Данный метод реализуется посредством параметра Timing advance (TA) [4], который предназначен для компенсации задержки распространения сигнала от мобильных устройств

и недопущения пересечения временных слотов при отправке и приёме данных. Так как данный метод уже применяется в сетях сотовой связи для обеспечения стабильности обмена данных определение местоположения транспортных средств с его помощью не потребует модернизации сетевого оборудования [4]. Точность определения местоположения транспортного средства на основе данного метода составляет порядка 35 метров.

Для определения местоположения мобильного объекта на основе точек доступа Wi-Fi проводится анализ доступных сетей по уровню RSSI (Received Signal Strength Indicator), который измеряется в дБм (децибел-милливаттах) и является отрицательным числом [5]. Данный показатель характеризует уровень мощности сигнала Wi-Fi сети, чем ближе данный показатель к 0, тем сигнал считается лучше. Наиболее стабильным

считается сигнал в диапазоне от -35 до -65 дБм, стабильным сигналом – от -50 до -70 дБм.

Для определения местоположения используется база данных о местоположении Wi-Fi сетей на местности, после чего определяется местоположение мобильного объекта с помощью математических расчётов методом латерации. Метод латерации не требует значительных ресурсов для определения местоположения, однако его точность в значительной части зависит от корректности определения расстояния до точки доступа, определённой относительно, по уровню RSSI, который не учитывает затухание сигнала при прохождении через препятствия отражённые сигналы и т.д. В качестве альтернативы измерения уровня мощности сигнала Wi-Fi точек доступа может быть использована технология Wi-Fi Location, которая использует метод измерения разности времени прихода сигнала аналогично методу TDoA в мобильных сетях LTE, однако она требует точной временной синхронизации оборудования для реализации.

Точность геопозиционирования на основе данного метода может составлять порядка 10 метров, однако она очень сильно зависит от метода определения расстояния до точек доступа Wi-Fi и их количества.

Указанные методы применимы для крупных городов с высокой плотностью базовых станций сетей сотовой мобильной связи и большого количества активных точек доступа Wi-Fi, так как точность определения местоположения напрямую зависит от их количества.

*Создание независимой сети обмена данными между транспортными средствами и элементами дорожной инфраструктуры.* В качестве полноценной альтернативы ГНСС в определении местоположения транспортных средств может быть применён набор технологий Vehicle-to-Everything (V2X), который предназначен для повышения уровня безопасности дорожного движения. Сети транспортных средств V2X были разработаны для обеспечения следующих каналов связи:

- Между транспортными средствами (V2V);
- Между транспортными средствами и дорожной инфраструктурой (V2I);
- Между транспортными средствами и пешеходами (V2P);
- Между транспортными средствами и сетью (V2N) и т.д.

В рамках различных сценариев, реализуемых с применением данного набора технологий каждое транспортное средство должно знать своё местоположение с высокой точностью (например, системы обеспечения приоритетного проезда перекрёстков). Однако существующие системы высокоточного позиционирования основываются на данных ГНСС, которые корректируются с помощью базовых станций с известными координатами.

Для решения вопроса возможности позиционирования в условиях низкой стабильности приёма данных ГНСС необходимо обеспечить достаточную плотность опорных устройств радиодоступа RSU (Roadside Unit) для интеллектуальных транспортных систем, обеспечивающих высокоточное сетевое позиционирование транспортных средств в условиях городской агломерации. Применение сетевой геолокации обеспечить функционал высокоточного позиционирования в условиях полного отсутствия данных ГНСС. В условиях прямой видимости не менее двух опорных устройств RSU точность позиционирования составляет до 1 м [6].

В результате проведённого анализа методов определения местоположения транспортных средств в условиях низкой стабильности приёма данных ГНСС, можно выделить достоинства и недостатки.

*Использование меток с записанными данными о собственном местоположении*  
Достоинства:

- Низкая стоимость внедрения за счёт распространённости применения технологии RFID и BLE меток в различных производственных сферах;

- Возможность масштабирования путём добавления меток в необходимых участках маршрутной сети;

- Независимость от внешних факторов, так как метки и считыватели находятся под управлением транспортного предприятия.

Недостатки:

- Относительно низкая точность позиционирования из-за необходимости расположения меток на расстоянии, исключающих одновременное считывание;

- Ограниченный срок службы активных меток со встроенным источником питания.

Использование существующих сетей связи.

Достоинства:

- Низкая стоимость внедрения за счёт готовности базовых станций сетей сотовой связи к реализации алгоритмов определения местоположения;

- Высокая надёжность работы системы за счёт мер по обеспечению стабильности работы сетевой инфраструктуры операторов сетей сотовой связи.

Недостатки:

- Невозможность использования вне населённых пунктов с достаточной плотностью базовых станций;

- Невозможность масштабирования из-за отсутствия влияния транспортных предприятий на операторов сетей сотовой связи.

*Создание независимой сети обмена данными между транспортными средствами и элементами дорожной инфраструктуры.*

Достоинства:

- Высокая точность позиционирования за счёт использования оборудования сетевой геолокации для высокоточного позиционирования транспортных средств;

- Возможность реализации различных сценариев управления транспортом в рамках городских ИТС (в том числе, приоритетные условия проезда перекрёстков для общественного транспорта);

- Возможность внедрения перспективных высокоавтоматизированных транспортных средств на базе оборудования сетевой геолокации;

Недостатки:

- Высокая стоимость внедрения из-за специфичности применяемого оборудования.

Метод определения местоположения транспортных средств следует выбирать исходя из внешних условий.

В случае наличия отдельных областей на маршруте следования транспортного средства с нестабильным приёмом данных ГНСС приёмников, наиболее целесообразно использовать метки с записанными данными о собственном местоположении. При этом, для рельсового транспорта предпочтительно использование RFID меток с дальностью считывания до 10 метров из-за возможности точного позиционирования считывателя по отношению к меткам. Данный способ позволяет добиться приемлемых показателей точности определения местоположения. BLE метки предпочтительно использовать для колёсных транспортных средств, так как отсутствие жёстких требования к позиционированию считывателя относительно метки обеспечивает надёжность считывания независимо от полосы движения транспортного средства.

В случае невозможности использования данных ГНСС на территории большей части городской агломерации, наиболее целесообразно обеспечить независимый альтернативный метод определения местоположения транспортных средств, на основе базовых станций. При этом, в рамках развития ИТС, предпочтительно развивать собственную инфраструктуру, обеспечивая достаточную плотность опорных устройств

радиодоступа RSU, с целью внедрения высокоточного сетевого позиционирования транспортных средств. Использование существующих сетей операторов сотовой связи может рассматриваться как временный метод определения местоположения транспортных средств при отсутствии ресурсов для реализации собственной сетевой геолокации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р ИСО 14813-1-2011. Интеллектуальные транспортные системы. Схема построения архитектуры интеллектуальных транспортных систем. Часть 1. Сервисные домены в области интеллектуальных транспортных систем, сервисные группы и сервисы : национальный стандарт Российской Федерации : дата введения 2012.03.01. – Текст : электронный // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии : [сайт]. – Москва, 2018. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293800/4293800056.pdf> (дата обращения: 05.10.2025).
2. Рыбнов, Е. И. Интеллектуальные транспортные системы. Учебник. Том 1 / Е. И. Рыбнов, С. С. Евтюков, А. И. Солодкий. – Санкт Петербург : Петрополис, 2023. – 356 с.
3. ГОСТ 33472-2023. Глобальная навигационная спутниковая система. Аппаратура спутниковой навигации для оснащения колёсных транспортных средств. Общие технические требования : Межгосударственный стандарт : дата введения 2024.06.01. – Текст : электронный // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии : [сайт]. – Москва, 2023. URL: <https://meganorm.ru/Data/815/81597.pdf> (дата обращения: 07.07.2025).
4. Киреев А.В., Фокин Г.А. Позиционирование объектов в сетях lte посредством измерения времени прохождения сигналов. Труды учебных заведений связи. 2016;2(1):68-72.
5. Боловнев Д. О., Семидетко Д. Д. Определение местоположения пользователя в Wi-Fi сети. Материалы Всероссийской научно-технической конференции. В 4-х частях. Новосибирск, 2024:20-25.
6. Фокин Г.А., Владыко А.Г. Позиционирование транспортных средств в сверхплотных сетях радиодоступа V2X/5G с использованием расширенного фильтра Калмана. Труды учебных заведений связи. 2020;6(4):45-59.

## REFERENCES

1. GOST R ISO 14813-1-2011. Intelligent transportation systems. The scheme of building the architecture of intelligent transport systems. Part 1. Service domains in the field of intelligent transport systems, service groups and services : national standard of the Russian Federation : date of introduction 2012.03.01. – Text : electronic // Federal Agency for Technical Regulation and Metrology : [website]. – Moscow, 2018. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293800/4293800056.pdf> (date of conversion: 05.10.2025).
2. Rybnov, E. I. Intelligent transport systems. Textbook. Volume 1 / E. I. Rybnov, S. S. Yevtyukov, A. I. Solodky. – St. Petersburg : Petropolis, 2023. – 356 p.
3. GOST 33472-2023. Global navigation satellite system. Satellite navigation equipment for equipping wheeled vehicles. General technical requirements : Interstate standard : date of introduction 2024.06.01. – Text : electronic // Federal Agency for Technical Regulation and Metrology : [website]. – Moscow, 2023. URL: <https://meganorm.ru/Data/815/81597.pdf> (date of request: 07.07.2025).
4. Kireev A.V., Fokin G.A. Positioning of objects in LTE networks by measuring the signal transit time. Proceedings of educational institutions of communication. 2016;2(1):68-72.
5. Bolovnev D. O., Semidetko D. D. Determining the user's location on a Wi-Fi network. Materials of the All-Russian Scientific and Technical Conference. In 4 parts. Novosibirsk, 2024:20-25.
6. Fokin G.A., Vladiko A.G. Vehicle positioning in ultra-dense V2X/5G radio access networks using an extended Kalman filter. Proceedings of educational institutions of communication. 2020;6(4):45-59.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН МАСЛЯНОГО ГОЛОДАНИЯ ДВС АВТОМОБИЛЯ AUDI Q7 ПОСЛЕ ПРОВЕДЕННОГО ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО РЕМОНТА

Е.В. Снятков<sup>1</sup>, В.А. Чухлебов<sup>2</sup>, В.А. Гаркуша<sup>3</sup>, В.И. Кылчик<sup>4</sup>, М.С. Судаков<sup>5</sup>  
<sup>1,2,3,4,5</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,  
г. Воронеж, Россия

Автор, ответственный за переписку: Евгений Вячеславович Снятков, snyatkov@list.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается пример неправильной установки масляного фильтра на автомобиль АУДИ Q7. В данной работе рассмотрены результаты, к которым может привести неправильная установка фильтра и отсутствие переливного клапана в масляном фильтре.

**Ключевые слова:** масляный фильтр, техническое обслуживание, подшипник скольжения, конструктивное исполнение масляного фильтра, оригинальный комплект масляного фильтра.

## INVESTIGATION OF THE REASONS FOR OIL STRAINING IN THE ENGINE OF AN AUDI Q7 AFTER REPAIRS

E.V. Snyatkov<sup>1</sup>, V.A. Chukhlebov<sup>2</sup>, V.A. Garkusha<sup>3</sup>, V.I. Kylchik<sup>4</sup>, M.S. Sudakov<sup>5</sup>  
<sup>1,2,3,4,5</sup> Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,  
Voronezh, Russia

The author responsible for the correspondence: Evgeny Vyacheslavovich Snyatkov, snyatkov@list.ru

**Annotation.** The article discusses an example of incorrect installation of an oil filter on an AUDI Q7 car. This work examines the results that can be caused by incorrect installation of the filter and the absence of an overflow valve in the oil filter.

**Keywords:** oil filter, maintenance, plain bearing, design of the oil filter, original oil filter kit.

Предметом исследования является двигатель внутреннего сгорания (ДВС) автомобиля АУДИ Q7.

Поставлены следующие вопросы:

- 1 Какие неисправности имеет ДВС автомобиля АУДИ Q7.
- 2 Какова причина выхода из строя ДВС автомобиля АУДИ Q7. Является ли она следствием восстановительного ремонта?
- 3 Соответствует ли комплект масляного фильтра установленный на автомобиль АУДИ Q7 соригинальной запасной части с каталожным номером «059198405»?

Исходные данные

После выполненных работ ТР эксплуатация автомобиля проходила преимущественно на коротких поездках в черте города. При выезде на трассу примерно через 147 км двигатель потерял мощность и заглох. После чего был вызван эвакуатор, которым автомобиль был доставлен в место проведения ремонта.

Термины и определения:

Согласно Протокола № 1 совещания рабочей группы при Экспертном совете ФАС России по развитию конкуренции в сфере реализации и сервисного обслуживания легковых автомобилей «Проблемы взаимодействия, дистрибьюторов, дилеров и



поставщиков запасных частей и оборудования для ремонта» (Москва 29.03.2012):

Оригинальная запасная часть – деталь, производимая по заказу автопроизводителя, прошедшая определенную маркировку товарным знаком автопроизводителя, и предназначенная для автомобилей конкретной марки, которые отвечают всеми необходимыми техническими характеристиками.

Согласно ГОСТ Р 53394–2017:

обозначение изделия (item/part number): Комбинация буквенных и цифровых символов, предназначенная для однозначной идентификации изделия для целей разработки, производства, эксплуатации и (или) ремонта

Примечания

При разработке и производстве изделия обозначение присваивает разработчик по ГОСТ Р 2.201-2023. При этом маркировка изделия одновременно является обозначением его основного конструкторского документа. Указанное обозначение является внутренним уникальным идентификатором (кодом) в организациях разработчика и изготовителя изделия.

При поставке изделия ему может быть присвоено другое обозначение, являющееся идентификатором либо комплектующего изделия для целей его использования при сборке и эксплуатации (ремонте) сложного изделия, либо самого такого сложного изделия (например, автомобиль Лада Гранта, самолет Ту-214, насос НС-3051, блок управления 6308 и т. п.).

Согласно Техническому регламенту:

Дефект – каждое отдельное несоответствие транспортного средства (компонента) установленным требованиям.

Согласно ГОСТ Р ИСО 9000–2015:

Дефект – нарушение требования, связанного с предполагаемым или установленным использованием.

Согласно ГОСТ 15467–79:

Дефект – каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям.

Несоответствие требованиям технического задания или установленным правилам разработки (модернизации) продукции относится к конструктивным дефектам.

Несоответствие требованиям нормативной документации на изготовление или поставку продукции относится к производственным дефектам.

Согласно ГОСТ Р 27.102–2021:

дефект: Каждое отдельное несоответствие объекта требованиям, установленным в документации.

повреждение: Нарушение исправного состояния объекта при сохранении его работоспособного состояния.

Примечания

1 Дефект и (или) повреждение могут служить причиной возникновения частичного или полного отказа объекта.

2 Факт наличия дефекта и (или) повреждения приводит объект в неисправное состояние исправное состояние (исправность): Состояние, в котором все параметры соответствуют всем требованиям, установленным в документации на этот объект.

неисправное состояние (неисправность): Состояние объекта, в котором хотя бы один параметр объекта не соответствует хотя бы одному из требований, установленных в документации на этот объект.

ДВС – двигатель внутреннего сгорания.

Осмотр автомобиля АУДИ Q7, был произведён в два этапа:

– первый при приемке автомобиля (перед транспортировкой вместо ремонта);

– второй непосредственно в месте ремонта.

Пробег автомобиля на момент проведения второго этапа исследования составил 254354 км.

Состояние автомобиля определялось органолептическим, измерительным методами, а также методом сравнения.

Производились

- визуальный осмотр;
- подключение диагностического сканера для определения пробега
- разборка ДВС;
- осмотр с применением увеличения;
- разборка масляного насоса;
- фотовидеосъемка

На первом этапе при визуальном осмотре исследуемого ДВС установлено:

- автомобиль на момент исследования находился на стоянке, ДВС был демонтирован, частично разобран и находился внутри помещения на кантователе;
- фильтрующий элемент отсутствует;
- обратный клапан в крышке фильтра отсутствует;
- в корпусе масляного фильтра содержится большое количество металлической стружки;
- датчик давления топлива смят;
- трубки системы дополнительного подогрева отрезаны;
- сломан кронштейн крышки выпускного коллектора.

На втором этапе для дальнейшего определения неисправностей двигатель был разобран, в результате чего установлено:

- в поддоне двигателя содержится большое количество металлической стружки различных фракций;
- в маслозаборнике, присутствуют посторонние предметы, являющиеся остатками, герметика, а также металлическая стружка;
- подшипники скольжения имеют следы аварийного износа, выраженные задирами, наволакиванием материала, участками перегрева, а также следы множественного попадания посторонних включений;
- коленчатый вал имеет аварийный износ шеек, выраженный задирами и локальными участками перегрева;
- рабочие поверхности цилиндров блока цилиндров имеют эксплуатационный износ и находятся в рабочем состоянии.
- поршни имеют царапины на юбках и износ антифрикционного слоя;
- два шатуна имеют следы схватывания с шатунными подшипниками;
- рабочие поверхности масляного насоса имеют царапины от попадания посторонних частиц;
- подвижность золотника редукционного клапана масляного насоса не нарушена.

Особый интерес представляет собой характерные следы, образующиеся при попадании посторонних частиц в зону трения «подшипник скольжения-шейка коленчатого вала» (рис. 1). При попадании частицы в масляный клин она некоторое время может в нем перемещаться и менять свое положение.

При изменении направления усилия на поршне, например при смене такта, масляный клин может изменяться по толщине и в момент его уменьшения частица вдавливаясь в поверхность антифрикционного материала подшипника скольжения, более мягкого чем шейка коленчатого вала.



Рисунок 1 – Следы попадания посторонних частиц на подшипнике скольжения  
Illustration 1 – Traces of foreign particles on the plain bearing

При вдавливании, вытесняемый материал образует на границе приподнятый край, который потом уплотняется и стачивается от взаимодействия с шейкой образуя при этом отличную по плотности и внешнему виду область с явно различимым центром. Если попадает мягкая частица, например герметик то от нее, как правило, остается только пятно отличное по цвету без ярко выраженного центра.

Необходимо обратить внимание на то, что при масляном голодании, вызванном падением давления или превышением эксплуатационных нагрузок, присутствие областей с вдавленными частицами не редкость, однако их количество мало и их расположение не сильно удалено от центра подшипника. При отсутствии масляного голодания такие частицы, если их не много не оказывают значительного влияния на работу ДВС.

В рассматриваемом случае следов попадания посторонних частиц очень много, распределены они практически равномерно, кроме того, присутствуют даже в областях с аварийным износом и масляным голоданием.

Учитывая большое количество следов посторонних частиц следует установить причину их попадания в подшипники скольжения.

Для ответа на вопрос необходимо изучить особенности работы системы смазки, которая осуществляет подачу масла к трущимся соединениям.

Согласно общему принципу, масло подается насосом и проходит через напорную смазочную линию в подшипники скольжения и шатунные подшипники, затем подаётся к головке цилиндра для смазки распределительного вала и элементов управления клапанов.

В исследуемом двигателе внутреннего сгорания используется магистральный масляный фильтр цель, которого задерживать посторонние частицы и предотвращать их циркуляцию в системе смазки. Частицами могут быть: остатки от стирания металла,

пыль из воздуха, сажа, продукты коррозии, мусор попавший при ремонте или заправке моторным маслом.

Главной особенностью магистрального фильтра заключается в том, что он должен оставлять в себе весь объём проходящего моторного масла, следовательно от качества выполняемого, им работ напрямую зависит исправная работа ДВС.

Масляные фильтры не может никакого влияния на химические изменения масла в работе двигателя, т.к. они не в состоянии отделить жидкие или растворимые части. Но они препятствуют циркуляции твёрдых частиц загрязнений, и попаданию их в пары трения. Таким образом в течение интервалов между ТО фильтр сохраняет работоспособность моторного масла.

Фильтрующий элемент представляет собою штору, которая изготавливается из специальной гофрированной бумаги, пропитанной смолами. Такая бумага обладает высокой пористостью, а благодаря пропитке – прочностью, водо и маслостойкостью.

Для достижения максимально возможной площади фильтрующей поверхности при минимальных габаритах фильтра бумагу укладывают специальным образом, обычно в виде многолучевой «звезды».

Еще одним важным узлом системы смазки является перепускной клапан, который иногда называют предохранительным, обводным или байпасным. Его назначением служит, обеспечение гарантированной подачи моторного масла в систему смазки двигателя даже в случае, если оно не может пройти через штору фильтрующего элемента при ее полном засорении или слишком большой вязкости масла при низких температурах. Давление для срабатывания перепускного клапана обусловлено техническими характеристиками, предъявляемыми заводом производителем в зависимости от конструкции двигателя.

При проведении восстановительного ремонта выполнялись воздействия, при которых становится возможным попадание загрязнений внутрь двигателя напрямую в масляную систему, кроме того, был установлен не оригинальный масляный фильтр и отсутствовал переливной клапан.

Таким образом для попадания посторонних частиц в пары трения «шейка коленчатого вала-подшипник скольжения» есть все объективные факторы, при которых в масло могут попасть загрязнения и будет нарушена работа масляного фильтра.

Из исследования вытекает две основные версии образования неисправности:

- использование фильтрующей вставки другой конструкции;
- сборка фильтра без переливного клапана.

Использование вставки другой конструкции

Конструктивно масляный фильтр исследуемого автомобиля (рис. 2) состоит из основания, фильтрующего элемента, уплотнительного кольца, крышки, переливного клапана.

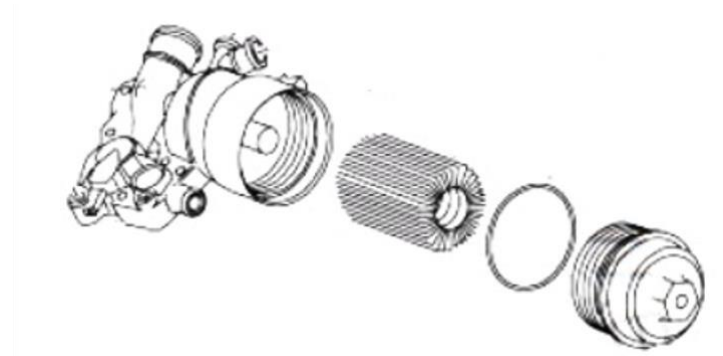


Рисунок 2 – Конструктивное исполнение масляного фильтра  
Illustration 2 – Design of the oil filter

Согласно регламенту по замене моторного масла, вместе с маслом меняется и вставка масляного фильтра, при этом особое внимание уделяется правильной установке вставки и закручиванию крышки. Конструктивно вставка имеет бобышку (рис. 3, бобышка обведена красным кругом) которая должна попасть в паз корпуса фильтра и перекрыть сливное отверстие.



Рисунок 3 – Оригинальный комплект масляного фильтра  
Illustration 3 – Original oil filter kit

Учитывая отсутствие цифробуквенного обозначения не оригинального фильтра, установленного при восстановительном ремонте, имелась ли на нем бобышка, а также его конструктивные параметры установить не представляется возможным в связи с тем, что фильтрующий элемент был утилизирован сотрудниками исполнителя.

Фильтр с отсутствующим переливным клапаном пропускает масло без очистки в систему смазки. Оставшиеся фрагменты герметика, грязь и т. Д. минуя штору масляного фильтра поступают в пары трения и вызывают их интенсивный износ.

При выполнении восстановительного ремонта в ДВС попали посторонние частицы (данный факт подтверждается еще и тем, что ДВС не мылся и содержит на своей поверхности абразив и другие загрязнения).

При установке масляного фильтра не был установлен обратный клапан. При отсутствии обратного клапана моторное масло циркулирует в системе практически без очистки т.к. центральное отверстие фильтрующего элемента всегда открыто.

Частицы загрязнений минуя штору фильтрующего элемента попадают в систему смазки, в частности пары трения коленчатый вал-подшипник скольжения (данное обстоятельство подтверждает множественные следы попадания посторонних частиц в антифрикционном слое подшипников скольжения)

При попадании посторонних частиц в пару трения в ней образуются механические повреждения антифрикционного слоя в результате чего нарушается масляный клин что приводит к аварийному приращению зазора и образованию масляного голодания.

Описанный механизм образования неисправности оставляет не освещенным один интересный вопрос – почему ДВС не вышел из строя в первые часы эксплуатации.

Для ответа на вопрос следует посмотреть исходные данные в них владелец поясняет как эксплуатировался автомобиль на протяжении 311 км после произведенного ремонта.

В частности, автомобиль используется не часто, основной пробег у автомобиля был по городу. При выезде на трассу и разгоне до 130 км/ч повышаются обороты причем нагрузка тоже растет. Вместе с повышением количества оборотов и нагрузки растет объем масла, подаваемый в зоны трения, следовательно и частицы более интенсивно циркулируют в системе. Нельзя оставить без внимания и накопительный эффект от попадания загрязнений.

Производитель дает четкие рекомендации в отношении использования запасных частей, в частности согласно руководству по эксплуатации:

Покупка автопринадлежностей и запасных частей должна предваряться консультацией на предприятии Audi. Ваш автомобиль располагает большим потенциалом активной и пассивной безопасности. В случае послезаводской комплектации автомобиля дополнительными автопринадлежностями или необходимости замены узлов и деталей воспользуйтесь советом и услугами предприятия Audi. Ваш договорной партнер Audi охотно проинформирует Вас о целесообразности, нормативных требованиях и заводских рекомендациях для автопринадлежностей и запасных частей. Мы рекомендуем использовать оригинальные автопринадлежности Audi и оригинальные узлы и детали® Audi, доказавшие надежность, безопасность и пригодность Audi. Разумеется, на предприятиях Audi может быть выполнен и их квалифицированный монтаж. Оценивать и ручаться за надежность, безопасность и пригодность других изделий мы не можем, даже если в каком-то конкретном случае окажется в наличии свидетельство об их приемке официально признанным органом технического надзора либо разрешение властей.

Таким образом производитель рекомендует устанавливать только оригинальные запасные части.

Учитывая утилизацию фильтра, установить его соответствие по техническим параметрам не представляется возможным, однако этот фильтр не совпадает с оригинальной деталью ни по названию, ни по маркировке следовательно, не является оригинальной деталью.

Причина выхода из строя ДВС автомобиля АУДИ Q7, является следствием не качественно выполненного восстановительного ремонта.

Комплект масляного фильтра установленный на автомобиль АУДИ Q7 не является оригинальной запасной частью с каталожным номером «059198405».

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения : межгосударственный стандарт. – Введ. 1979-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2007. – 10 с.
2. ГОСТ Р 27.102-2021. Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения : национальный стандарт Российской Федерации. – Введ. 2022-07-01. – Москва : Стандартинформ, 2021. – 20 с.
3. ГОСТ Р 53394-2017. Интегрированная логистическая поддержка. Термины и определения : национальный стандарт Российской Федерации. – Введ. 2019-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 23 с.
4. ГОСТ Р ИСО 9000-2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь : национальный стандарт Российской Федерации. – Введ. 2016-03-01. – Москва : Стандартинформ, 2015. – 63 с.

5. ГОСТ Р 2.201-2023. Единая система конструкторской документации. Обозначение изделий и конструкторских документов : национальный стандарт Российской Федерации. – Введ. 2024-07-01. – Москва : Стандартинформ, 2024. – 18 с.

6. Снятков, Е. В. Применение сравнительного метода анализа при экспертизе автомобильных масляных фильтров / Е. В. Снятков, И. И. Голобокова, Ф. А. Мирзоева // Проблемы эксплуатации автомобильного транспорта и пути их решения на основе перспективных технологий : материалы Всероссийской научно-технической конференции, Воронеж, 18 октября 2021 года. – Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова, 2021. – С. 49–51.

7. Попов, Д. А. К вопросу об отказе ДВС, вызванного проворачиванием подшипников скольжения / Д. А. Попов, Е. В. Снятков, С. В. Дорохин // Современные автомобильные материалы и технологии : сборник статей VI Международной научно-технической конференции, Курск, 28 ноября 2014 года / Е. В. Агеев (отв. ред.). – Курск : Юго-Западный государственный университет, 2014. – С. 200–204.

## REFERENCES

1. GOST 15467-79. Product quality management. Basic concepts. Terms and definitions : interstate standard. – Introduction. 1979-01-01. – Moscow : Standartinform, 2007. – 10 p.

2. GOST R 27.102-2021. Reliability in technology. The reliability of the facility. Terms and definitions : national standard of the Russian Federation. – Introduction. 2022-07-01. – Moscow : Standartinform, 2021. – 20 p.

3. GOST R 53394-2017. Integrated logistical support. Terms and definitions : national standard of the Russian Federation. – Introduction. 2019-01-01. – Moscow : Standartinform, 2018. – 23 p.

4. GOST R ISO 9000-2015. Quality management systems. Basic provisions and vocabulary : the national standard of the Russian Federation. – Introduction. 2016-03-01. Moscow : Standartinform, 2015. 63 p.

5. GOST R 2.201-2023. A unified system of design documentation. Designation of products and design documents : national standard of the Russian Federation. – Introduction. 2024-07-01. – Moscow : Standartinform, 2024. – 18 p.

6. Snyatkov, E. V. Application of the comparative analysis method in the examination of automotive oil filters / E. V. Snyatkov, I. I. Golobokova, F. A. Mirzoeva // Problems of operation of motor transport and ways to solve them based on promising technologies : proceedings of the All-Russian Scientific and Technical Conference, Voronezh, October 18, 2021. Voronezh : Voronezh State Forestry Engineering University named after G. F. Morozov, 2021. pp. 49-51.

7. Popov, D. A. On the issue of internal combustion engine failure caused by cranking of sliding bearings / D. A. Popov, E. V. Snyatkov, S. V. Dorokhin // Modern automotive materials and technologies : collection of articles of the VI International Scientific and Technical Conference, Kursk, November 28, 2014 / E. V. Ageev (ed.). Kursk : Southwest State University, 2014, pp. 200-204.



## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Вадим Олегович Никонов <sup>1</sup>, Валерий Иванович Посметьев <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,

г. Воронеж, Россия,

<sup>1</sup> 8888nike8888@mail.ru

**Аннотация.** В статье обоснована перспективность систем рекуперативного торможения для повышения энергоэффективности легковых автомобилей в условиях города. Рассмотрено преимущество электрических систем, заключающееся в их высоком КПД (до 85 %). Разработана математическая модель, оценивающая рекуперированную энергию и расход топлива с учетом ключевых эксплуатационных параметров. Выявлено, что эффективность рекуперации максимальна при скоростях 60-80 км/ч и высокой частоте торможений. Установлено, что внедрение таких систем обеспечивает экономию топлива до 30 % в городском цикле, подтверждая их высокую эффективность.

**Ключевые слова:** рекуперативное торможение, энергоэффективность, легковой автомобиль, математическая модель, рекуперированная энергия, расход топлива, городской цикл, системы рекуперации.

## ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF REGENERATIVE BRAKING SYSTEMS OF PASSENGER CARS

Vadim Olegovich Nikonov <sup>1</sup>, Valery Ivanovich Posmetev <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,

Voronezh, Russia,

<sup>1</sup> 8888nike8888@mail.ru

**Abstract.** This article explores the potential of regenerative braking systems for improving the energy efficiency of passenger cars in urban environments. The advantage of electric systems, their high efficiency (up to 85 %), is discussed. A mathematical model is developed that evaluates recovered energy and fuel consumption, taking into account key operating parameters. It is found that regenerative braking efficiency is highest at speeds of 60-80 km/h and high braking frequency. The implementation of such systems has been shown to provide fuel savings of up to 30 % in urban driving, confirming their high efficiency.

**Keywords:** regenerative braking, energy efficiency, passenger car, mathematical model, recoverable energy, fuel consumption, urban cycle, recuperation systems.

Повышение энергоэффективности легковых автомобилей является одной из ключевых задач современного транспорта в условиях истощения природных ресурсов и постоянного роста цен на топливо. Традиционный двигатель внутреннего сгорания обладает крайне низким коэффициентом полезного действия, так как значительная часть энергии топлива рассеивается в виде тепла. Особенно большие потери происходят в режимах городской езды с частыми разгонами и замедлениями, где до 30 % энергии, полученной от сжигания топлива, тратится на преодоление сил трения при торможении. Эта кинетическая энергия движения безвозвратно теряется, преобразуясь в тепло в тормозных дисках и колодках. Таким образом, сокращение этих потерь напрямую способствует снижению



эксплуатационных расходов и повышению экономической эффективности транспортных средств [1, 2].

Снижение вредных выбросов автомобильного транспорта, особенно в городских условиях, является критически важным для улучшения качества воздуха и здоровья населения. Транспорт остается одним из основных источников загрязнения атмосферы такими веществами, как CO<sub>2</sub>, оксиды азота, а также твердыми частицами. Рекуперативное торможение позволяет сократить выбросы за счет уменьшения нагрузки на двигатель внутреннего сгорания и частичного замещения его работы накопленной энергией. Внедрение систем рекуперации является необходимым шагом для снижения негативного воздействия на окружающую среду. Потенциал экономии топлива от использования рекуперации энергии торможения весьма значителен как на уровне одного автомобиля, так и в глобальном масштабе. Для одного автомобиля в городском цикле с частыми разгонами и торможениями экономия топлива может достигать 25-30 %, что напрямую снижает транспортные затраты. В пересчете на глобальный уровень, массовое внедрение таких систем может сохранить миллионы тонн топлива ежегодно. Это не только дает колоссальный экономический эффект, но и приводит к пропорциональному снижению объема вредных выбросов в атмосферу. Поэтому разработка и совершенствование устройств рекуперации является стратегически важным направлением для устойчивого развития автомобильной промышленности [3, 4].

Выполненный анализ научно-исследовательских работ позволил выделить ряд наиболее перспективных типов систем рекуперации энергии при торможении легкового автомобиля (табл. 1).

Таблица 1 – Сравнительная таблица типов систем рекуперативного торможения  
Table 1 – Comparison table of types of regenerative braking systems

Тип системы	Принцип работы	Преимущества	Недостатки
Электрическая	Кинетическая энергия через трансмиссию передается на электродвигатель, который переходит в генераторный режим. Вырабатываемое электричество заряжает тяговую аккумуляторную батарею или суперконденсатор	Высокий КПД (70-85 %). Простота внедрения в электромобили и гибриды. Совместимость с интеллектуальным и системами управления энергией	Эффективность зависит от состояния заряда и температуры батареи. Высокая стоимость компонентов. Снижение эффективности при низких скоростях
Механическая	Энергия торможения через вариатор или муфту раскручивает маховик. При последующем разгоне накопленная кинетическая энергия маховика возвращается на колеса	Очень быстрый отклик и высокий КПД (до 80 %). Долгий срок службы. Экологичность (не зависит от химических батарей)	Ограниченное время хранения энергии. Трудности встраивания в трансмиссию. Гироскопический эффект, влияющий на управляемость. Шум и вибрации
Гидравлическая	При торможении гидравлический насос закачивает жидкость,	Высокая мощность, применимость в тяжелых режимах.	Низкий КПД (45-60 %). Громоздкая и

	сжимаемая газ в пневмогидроаккумуляторе высокого давления. При ускорении жидкость под давлением вращает гидромотор, передающий энергию на колеса	Надежность конструкции	тяжелая конструкция. Чувствительность к температурным колебаниям
Пневматическая	Кинетическая энергия используется для привода компрессора, который сжимает воздух и накапливает его в баллоне (ресивере). При необходимости сжатый воздух используется для привода пневмомотора или турбины	Простота конструкции. Низкая стоимость компонентов. Возможность интеграции в существующие пневмосистемы	Низкая энергоемкость. Высокий уровень шума при работе. Необходимость дополнительного пространства для баллонов. Ограниченное применение в легковых авто
С использованием суперконденсатора	Энергия торможения преобразуется в электрическую и накапливается в электрохимических конденсаторах, которые заряжаются и разряжаются с очень высокой скоростью	Крайне высокая мощность, скорость рекуперации, долговечность. Эффективен при частых и резких торможениях	Низкая энергетическая плотность. Высокая стоимость. Обычно требуются в паре с аккумулятором

Данные системы принципиально различаются по способу преобразования кинетической энергии движения в полезную форму, и каждая из них обладает уникальным сочетанием эксплуатационных свойств и экономических показателей [1-15].

Использование обратимых электроприводов в качестве генераторов является наиболее перспективным и доминирующим направлением для рекуперации энергии торможения в легковых автомобилях. Это обусловлено высоким КПД (до 85 %), универсальностью и способностью мгновенно переключаться между режимами двигателя и генератора, обеспечивая плавное и эффективное торможение автомобиля. Данная технология является критически важной частью электромобилей и гибридов, так как напрямую увеличивает запас хода на 15-30 %, продлевает ресурс батареи. Кроме того, электрическая рекуперация эффективно встраивается в интеллектуальные системы управления и автономного вождения, где алгоритмы на основе искусственного интеллекта оптимизируют ее в реальном времени, а также приносит дополнительные преимущества в виде значительного снижения износа фрикционных тормозов, что сокращает затраты на обслуживание и уменьшает вредные выбросы от продуктов износа [5, 6].

Современный легковой автомобиль с системой рекуперативного торможения представляет собой интегрированную электромеханическую систему, ключевыми компонентами которой являются: тяговый электродвигатель (генератор) двойного назначения, выполняющий функции, как привода, так и генератора; высоковольтная тяговая батарея, служащая накопителем энергии; инвертор-преобразователь, осуществляющий двунаправленное преобразование постоянного и переменного тока; система управления энергией, координирующая работу всех компонентов и интегрированная тормозная система,

обеспечивающая совместную работу рекуперативных и гидравлических тормозных механизмов. Принцип работы основан на реверсивном функционировании электродвигателя: при торможении система переводит его в генераторный режим, преобразуя кинетическую энергию вращающихся колес в электрическую благодаря тормозному моменту на валу. Выработанная электроэнергия через инвертор поступает в тяговую батарею, а интеллектуальная система управления обеспечивает оптимальное распределение тормозного усилия между рекуперативной и гидравлической составляющими, гарантируя эффективное восстановление энергии при сохранении привычных для водителя характеристик торможения [7, 8].

Для предварительного исследования такой системы рекуперативного торможения разработана математическая модель легкового автомобиля с электрической трансмиссией. Модель включает электромеханическую систему рекуперации на основе синхронного мотор-генератора с постоянными магнитами, интегрированного в трансмиссию, с пиковой мощностью рекуперации 60-80 кВт и литий-ионной тяговой батареей номинальным напряжением 350-400 В. Конструкция предусматривает электрогидравлическую тормозную систему с интеллектуальным распределением тормозного усилия между рекуперативной и фрикционной составляющими в пропорции 70-90 % на рекуперацию и 10-30 % на фрикционные механизмы. Модель учитывает аэродинамические параметры автомобиля (лобовая площадь 2,1 м<sup>2</sup>, коэффициент аэродинамического сопротивления  $C_d = 0,28$ ), массовые характеристики (полная масса 1800-2000 кг) и тепловые ограничения компонентов. Рабочий диапазон модели охватывает скорости 7,2-120 км/ч при допустимом уровне заряда батареи 20-95 % и максимальном замедлении до 8 м/с<sup>2</sup> [9-15].

Уравнение продольной динамики имеет следующий вид:

$$m \frac{dv}{dt} = F_{trac} - F_{brk} - F_{roll} - F_{aero} - F_{grade} - F_{rough}, \quad (1)$$

где  $m$  – масса автомобиля, кг;  $v$  – скорость, м/с;  $F_{trac}$  – сила тяги, Н;  $F_{brk}$  – суммарная тормозная сила, Н;  $F_{roll}$  – сила сопротивления качению, Н;  $F_{aero}$  – аэродинамическое сопротивление, Н;  $F_{grade}$  – сила сопротивления уклону, Н;  $F_{rough}$  – сила сопротивления неровностям покрытия, Н.

Сила сопротивления качению и аэродинамическое сопротивление рассчитываются по следующим зависимостям:

$$F_{roll} = c_r \cdot m \cdot g \cdot \cos(\theta), F_{aero} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_d \cdot A \cdot v^2, \quad (2)$$

где  $c_r$  – коэффициент сопротивления качению;  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>;  $\theta$  – угол продольного уклона дороги, рад;  $\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $C_d$  – коэффициент аэродинамического сопротивления;  $A$  – лобовая площадь, м<sup>2</sup>.

Сопротивление уклону и сопротивление неровностям покрытия определяют в соответствии с зависимостями:

$$F_{grade} = m \cdot g \cdot \sin(\theta), F_{rough} = k_h \cdot \frac{dh}{dx} \cdot v, \quad (3)$$

где  $k_h$  – коэффициент влияния неровностей, Н · с/м<sup>2</sup>;  $\frac{dh}{dx}$  – градиент высоты неровностей.

Тормозная сила распределяется между фрикционной и рекуперативной системами:

$$F_{brk} = F_{fric} + F_{rec}, \quad (4)$$

где  $F_{fric}$  – механическая тормозная сила;  $F_{rec}$  – рекуперативная составляющая тормозной силы, Н.

Рекуперативная составляющая тормозной силы ограничена по мощности и требуемому замедлению:

$$F_{rec} = \min \left( \frac{P_{max}^{rec}}{v}, m \cdot a_{brk} \cdot k_{rec} \right), \quad (5)$$

где  $P_{max}^{rec}$  – максимальная мощность рекуперации, Вт;  $a_{brk}$  – целевое замедление, м/с<sup>2</sup>;  $k_{rec}$  – коэффициент использования рекуперации ( $0 \leq k_{rec} \leq 1$ ).

Мгновенная рекуперативная мощность рассчитывается по следующей зависимости:

$$P_{rec} = \begin{cases} \eta_{rec} \cdot F_{rec} \cdot v \cdot f_{speed} \cdot f_{rough}, \\ 0, \end{cases} \quad (6)$$

где  $f_{speed}$  – коэффициент влияния скорости;  $f_{rough}$  – коэффициент влияния неровностей.

Накопленная за время поездки рекуперированная энергия определялась по зависимости:

$$E_{rec} = \int P_{rec} dt. \quad (7)$$

Скорректированный расход топлива с учетом рекуперации:

$$Q_{total} = Q_{base} + \frac{E_{drive} - \eta_{sys} \cdot E_{rec}}{L_{hv} \cdot \eta_{eng} \cdot 100}, \quad (8)$$

где  $Q_{base}$  – базовый расход топлива, л/100 км;  $E_{drive}$  – энергия, затрачиваемая на движение за цикл, Дж;  $\eta_{sys}$  – общий КПД системы рекуперации (0,7-0,85);  $L_{hv}$  – низшая теплота сгорания топлива, Дж/л;  $\eta_{eng}$  – КПД двигателя внутреннего сгорания (0,3-0,4).

Коэффициент рекуперации определялся по зависимости:

$$\eta_E = \frac{E_{rec}}{E_{brk}} \cdot 100 \%, \quad (9)$$

где  $E_{brk}$  – общая энергия торможения за цикл, Дж.

Относительная экономия топлива определялась по зависимости:

$$\Delta Q = \frac{Q_{ref} - Q_{total}}{Q_{ref}} \cdot 100 \%, \quad (10)$$

где  $Q_{ref}$  – расход топлива в отсутствие системы рекуперации, л/100 км.

Математическая модель решалась с использованием комбинации аналитических методов и численного интегрирования. Основное дифференциальное уравнение движения решалось методом Рунге-Кутты 4-го порядка с шагом в диапазоне 0,01-0,1 с в зависимости от скорости изменения переменных состояния. При этом модель основана на допущениях о постоянстве КПД системы (75 %), медленном изменении параметров процессов, линейности характеристик электродвигателя, независимости параметров от температуры в рабочем диапазоне, и статистической однородности дорожного покрытия. Принято допущение о мгновенном переключении между режимами двигателя и генератора, а также о постоянстве коэффициентов сопротивления движению. Модель имеет ограничения по скоростному диапазону (7,2-120 км/ч), уровню заряда батареи (20-95 %), максимальному замедлению (6 м/с<sup>2</sup>) и температурным условиям (–20 ... +50°C). Игнорируются переходные электромеханические процессы, влияние атмосферного давления, деградация характеристик аккумулятора, изменение массы автомобиля от расхода топлива и поперечная динамика транспортного средства.

В ходе исследования варьировались ключевые параметры в следующих диапазонах: кинематические характеристики включали скорость движения 10-120 км/ч, замедление 1-6 м/с<sup>2</sup> и частоту торможений 0,1-3 циклов/мин; геометрические параметры охватывали массу автомобиля 1000-2500 кг, уклон дороги  $\pm 8$  % и коэффициент неровности 0-1; энергетические характеристики включали мощность рекуперации 0-60 кВт, КПД системы 0,7-0,85 и базовый расход топлива 6,5-9 л/100 км; временные параметры состояли из общего времени моделирования 3600 с и шага дискретизации 0,01-1 с.

График зависимости (рис. 1, *а*) показывает линейную зависимость суммарной рекуперированной энергии от частоты торможений. Каждое дополнительное торможение вносит вклад в общий объем восстановленной энергии. Такая характеристика объясняет высокую эффективность рекуперативных систем в городских условиях движения, где частое торможение является неотъемлемой частью эксплуатационного цикла. На графике зависимости (рис. 1, *б*) наблюдается монотонный рост рекуперированной мощности с увеличением массы автомобиля, что объясняется прямой зависимостью кинетической энергии от массы.

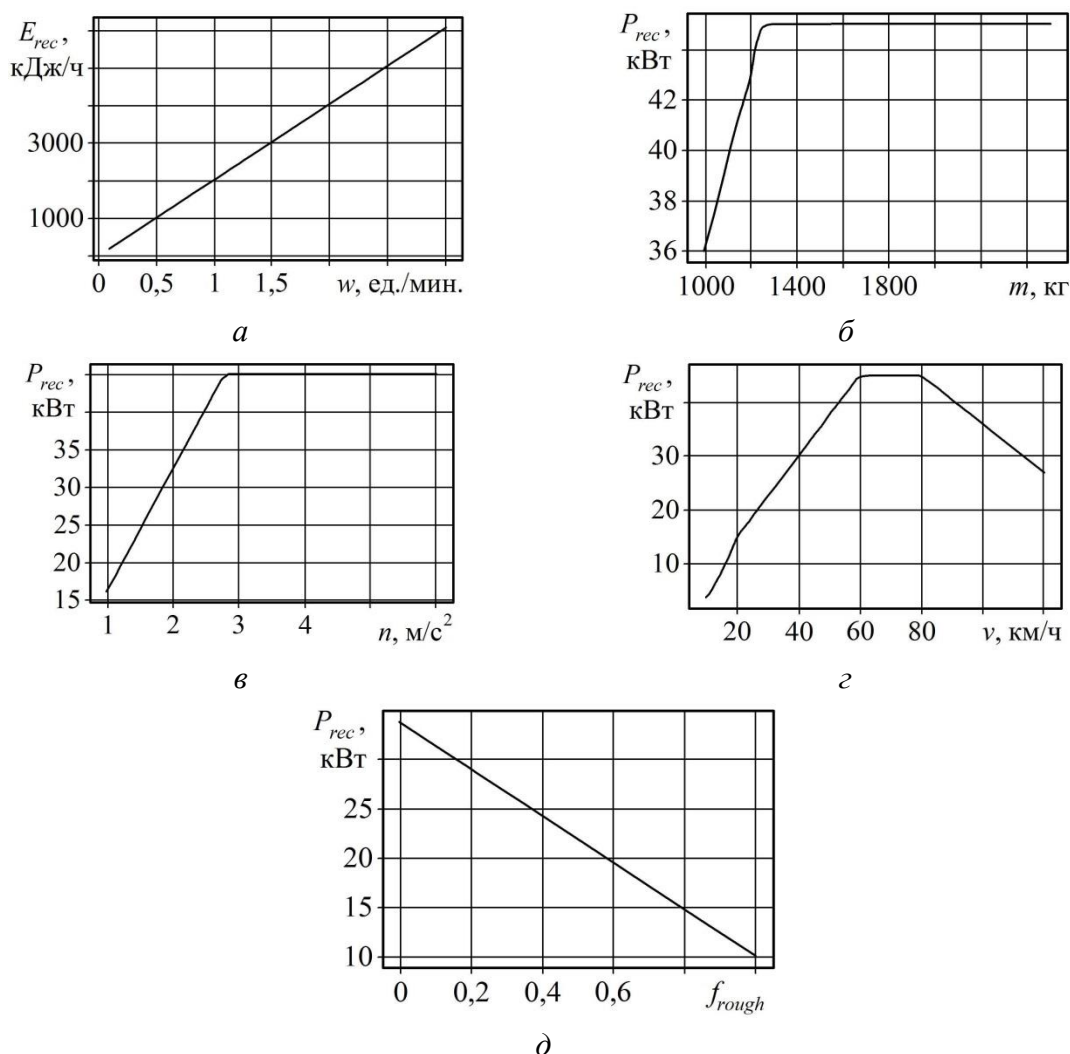


Рисунок 1 – Графики зависимостей рекуперированной мощности от частоты торможений – *а*, массы автомобиля – *б*, интенсивности торможений – *в*, скорости движения – *г*, неровности дороги – *д*

Figure 1 – Graphs of the dependence of recuperated power on the frequency of braking – *а*, vehicle weight – *б*, braking intensity – *в*, driving speed – *г*, road roughness – *е*

Более тяжелые автомобили при одинаковой скорости обладают большим запасом кинетической энергии, которая может быть преобразована в электрическую при торможении. Однако после достижения массы 1800-2000 кг рост мощности замедляется, что свидетельствует о выходе на пределы мощности электрогенератора системы рекуперации. Это указывает на наличие технических ограничений, которые не позволяют бесконечно увеличивать эффективность рекуперации при росте массы транспортного средства.

На графике (рис. 1, в) виден нелинейный рост мощности рекуперации с увеличением интенсивности торможения. На начальном участке ( $1-4 \text{ м/с}^2$ ) наблюдается быстрый рост, обусловленный увеличением тормозного усилия, преобразуемого в электрическую мощность. При дальнейшем увеличении замедления ( $> 5 \text{ м/с}^2$ ) достигаются предельные возможности генератора по преобразованию механической энергии в электрическую. Это ограничение связано с конструктивными особенностями и тепловыми режимами работы электрооборудования. Анализ графика (рис. 1, г) показывает, что на малых скоростях ( $< 20 \text{ км/ч}$ ) мощность рекуперации незначительна из-за недостаточного запаса кинетической энергии. При скоростях 40-80 км/ч система работает в оптимальном режиме, эффективно

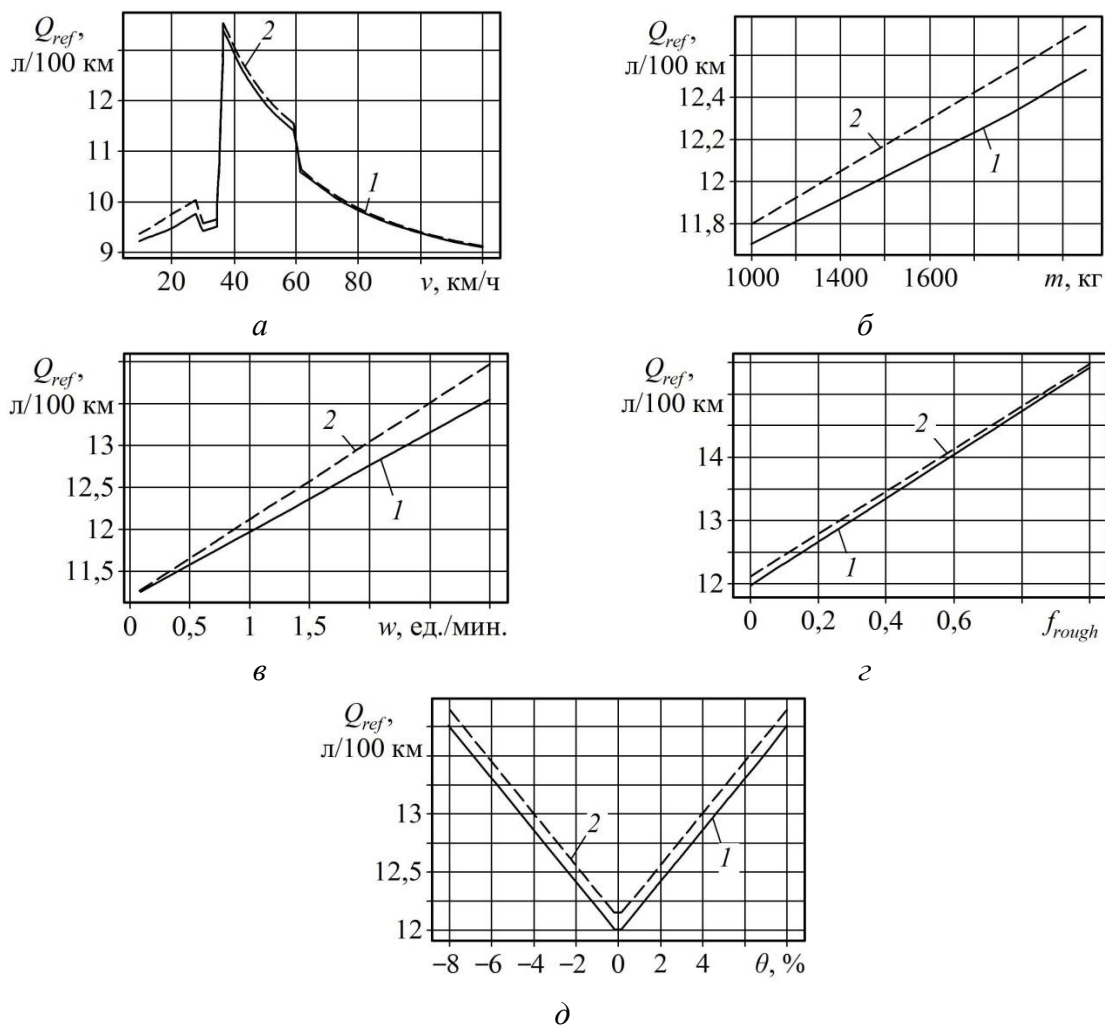
преобразуя кинетическую энергию. Снижение мощности при высоких скоростях ( $> 100 \text{ км/ч}$ ) объясняется ограничениями по мощности генератора и необходимостью обеспечения безопасного торможения, что требует подключения традиционной тормозной системы.

На графике (рис. 1, д) наблюдается монотонное уменьшение рекуперированной мощности с ростом коэффициента неровности дороги. Это связано с нарушением стабильного контакта колес с дорожной поверхностью, что приводит к нерегулярному характеру торможения и необходимости более частого использования механических тормозов. На сильно неровных дорогах система рекуперации теряет до 70 % эффективности, поскольку значительная часть энергии расходуется на преодоление неровностей и гашение колебаний подвески.

График (рис. 2, а) показывает, что максимальная экономия (25-30 %) наблюдается в городском диапазоне скоростей (30-60 км/ч), где частота торможений наиболее высока. На высоких скоростях ( $> 90 \text{ км/ч}$ ) разница сокращается до 5-10 %, что объясняется редким использованием торможения и преобладанием аэродинамического сопротивления. Это подтверждает целесообразность применения рекуперации преимущественно для городского цикла эксплуатации. На графике (рис. 2, б) видна линейная зависимость расхода топлива от массы для обоих типов автомобилей, причем угол наклона линий практически идентичен. Это свидетельствует о том, что относительная экономия топлива (20-25 %) сохраняется постоянной независимо от массы транспортного средства. Однако абсолютная экономия топлива возрастает с увеличением массы, поскольку тяжелые автомобили обладают большей кинетической энергией, являющейся потенциальной для рекуперации.

График (рис. 2, в) показывает, что с ростом частоты торможений разница в расходе топлива между автомобилями с рекуперацией и без нее увеличивается. При частоте торможений более 2 раз в минуту экономия достигает 35 %. На участке редких торможений ( $< 0,5 \text{ ед./мин}$ ) преимущество рекуперации минимально, поскольку энергия торможения составляет незначительную долю общих энергозатрат. На графике (рис. 2, г) наблюдается рост расхода топлива с увеличением неровности дороги для обоих типов автомобилей, однако автомобиль с рекуперацией сохраняет преимущество на всем диапазоне исследуемых параметров.

Даже при максимальных неровностях экономия составляет 15-20 %, что свидетельствует о сохранении работоспособности системы в сложных дорожных условиях.



1 – с рекуперацией энергии; 2 – без рекуперации энергии

Рисунок 2 – Графики зависимостей расхода топлива от скорости движения – а, массы автомобиля – б, частоты торможений – в, неровности дороги – г, уклона дороги – д

1 – with energy recovery; 2 – without energy recovery

Figure 2 – Graphs of fuel consumption versus vehicle speed – а, vehicle weight – б, braking frequency – в, road roughness – г, and road slope – д

Ухудшение эффективности объясняется необходимостью более частого использования механических тормозов и дополнительными энергозатратами на преодоление неровностей. График (рис. 2, д) демонстрирует асимметричную зависимость расхода топлива от уклона дороги. На спусках автомобиль с рекуперацией показывает максимальную экономию (до 40 %), поскольку система не только экономит топливо, но и аккумулирует энергию для последующего использования. На подъемах разница между системами минимальна, так как преобладает энергия, затрачиваемая на преодоление подъема.

Выполненное исследование позволило установить, что:

- системы рекуперативного торможения демонстрируют максимальную эффективность (экономию топлива 25-30 %) в городских условиях эксплуатации, характеризующихся частыми циклами разгона и торможения на скоростях 30-60 км/ч, в то время как на трассовых режимах с преобладанием аэродинамического сопротивления их вклад в экономию существенно снижается (до 5-10 %);

- эффективность рекуперации напрямую зависит от кинетической энергии

транспортного средства, что подтверждается линейным ростом рекуперированной мощности с увеличением его массы и частоты торможений, однако эта зависимость имеет нелинейный характер и ограничивается техническими параметрами системы, такими как пиковая мощность генератора и тепловые режимы;

– электрический тип системы рекуперации на основе мотор-генератора обладает наилучшими показателями благодаря высокому КПД (70-85 %) и оптимальному сочетанию эксплуатационных характеристик, что обуславливает перспективность его использования в современных электромобилях, в отличие от механических, гидравлических и пневматических систем, обладающих в совокупности существенными конструктивными и эксплуатационными недостатками.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Armenta-Deu C., Cortes H. Analysis of kinetic energy recovery systems in electric vehicles. *Vehicles* 2023, 5, 387-403. <https://doi.org/10.3390/vehicles5020022>.
2. Alberto Boretti Perspective on compressed CO<sub>2</sub> regenerative braking systems for passenger cars. *e-Prime – Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy* 12 (2025) 100970. <https://doi.org/10.1016/j.prime.2025.100970>.
3. Alireza Azarm, Mohsen Esfahanian, Hosein Hamidi Rad development of an innovative flywheel-based brake energy recovery system for enhanced urban fuel efficiency in passenger cars. *Automotive Science and Engineering*, Vol. 14, № 2, (2024), 4388-4406. <https://doi.org/10.22068/ase.2024.671>.
4. Jinghan Guo, Jinqing Zhou Comprehensive analysis of braking energy recovery system for new energy vehicle. *Highlights in Science, Engineering and Technology MSMEE 2023*, Vol. 43 (2023). – Pp. 504-511.
5. Zuyi Lin, Tong Mo, Tianyi Wang Research and analysis on brake energy recovery of pure electric vehicles. *E3S Web of Conferences* 424, 01007 (2023) ICREE 2023. – 5 p. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342401007>.
6. Szumska E. M., Jurecki R. The analysis of energy recovered during the braking of an electric vehicle in different driving conditions. *Energies* 2022, 15, 9369. <https://doi.org/10.3390/en15249369>.
7. Szumska E. M. Regenerative braking systems in electric vehicles: a comprehensive review of design, control strategies, and efficiency challenges. *Energies* 2025, 18, 2422. <https://doi.org/10.3390/en18102422>.
8. Mirosław Wendeker, Michał Gęcał, Łukasz Grabowski, Grzegorz Barański Measuring regenerative braking electricity generated by the city bus with internal combustion engine. *Advances in Science and Technology Research Journal* 2021, 15(3), 215-223. <https://doi.org/10.12913/22998624/140787>.
9. Sollicet G. Le, Chasse A., Van-Frank J., Walser D. Dual mode vehicle with in-wheel motor: regenerative braking optimization. *Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP Energies nouvelles*. 2011 – 14 p. DOI : 10.2516/ogst/2012013.
10. Emilia M. Szumska, Adriana Skuza, Rafał Jurecki The analysis of energy recovered by an electric vehicle during selected braking manoeuvres. *The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji* Vol. 99, № 1, 2023. – Pp. 18-29. <https://doi.org/10.14669/AM/162079>.
11. Posmetev, V. I. Results of Computer Simulation of a Braking Vehicle Energy Recovery System / V. I. Posmetev, V. O. Nikonov, V. V. Posmetev // 6-th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2020) : Conference proceedings, Sochi, Russia, 2020. – Sochi, Russia : Springer International Publishing, 2021. – P. 652-661. – DOI 10.1007/978-3-030-54817-9\_75.
12. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019611251 РФ. Программа для моделирования движения лесовозного автомобиля с накопителями энергии в гидромоторах колес : № 2019610101 : заявл. 10.01.2019 : опубл. 23.01.2019 / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев ; заявитель ФГБОУ ВО «ВГЛУ им. Г.Ф. Морозова».
13. Посметьев, В. И. Теоретические обоснования новых технических решений, обеспечивающих повышение эксплуатационных свойств лесовозных автомобилей / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев. – Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова, 2024. – 275 с.
14. Никонов, В. О. Оценка эффективности лесовозного автопоезда с накопителями энергии в



гидромоторах колес на основе компьютерного моделирования / В. О. Никонов, В. И. Посметьев, В. В. Посметьев // Мир транспорта и технологических машин. – 2018. – № 3(62). – С. 46-54.

15. Никонов, В. О. Состояние проблемы и обзор конструкций транспортных средств с системами рекуперации энергии торможения / В. О. Никонов, В. И. Посметьев и др. // Воронежский научно-технический Вестник. – 2018. – Т. 2, № 2(24). – С. 4-19.

## REFERENCES

1. Armenta-Deu C., Cortes H. Analysis of kinetic energy recovery systems in electric vehicles. *Vehicles* 2023, 5, 387-403. <https://doi.org/10.3390/vehicles5020022>.

2. Alberto Boretti Perspective on compressed CO<sub>2</sub> regenerative braking systems for passenger cars. *e-Prime – Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy* 12 (2025) 100970. <https://doi.org/10.1016/j.prime.2025.100970>.

3. Alireza Azarm, Mohsen Esfahanian, Hosein Hamidi Rad development of an innovative flywheel-based brake energy recovery system for enhanced urban fuel efficiency in passenger cars. *Automotive Science and Engineering*, Vol. 14, № 2, (2024), 4388-4406. <https://doi.org/10.22068/ase.2024.671>.

4. Jinghan Guo, Jinqing Zhou Comprehensive analysis of braking energy recovery system for new energy vehicle. *Highlights in Science, Engineering and Technology MSMEE* 2023, Vol. 43 (2023). – Pp. 504-511.

5. Zuyi Lin, Tong Mo, Tianyi Wang Research and analysis on brake energy recovery of pure electric vehicles. *E3S Web of Conferences* 424, 01007 (2023) ICREE 2023. – 5 p. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342401007>.

6. Szumska E. M., Jurecki R. The analysis of energy recovered during the braking of an electric vehicle in different driving conditions. *Energies* 2022, 15, 9369. <https://doi.org/10.3390/en15249369>.

7. Szumska E. M. Regenerative braking systems in electric vehicles: a comprehensive review of design, control strategies, and efficiency challenges. *Energies* 2025, 18, 2422. <https://doi.org/10.3390/en18102422>.

8. Mirosław Wendeker, Michał Gęcał, Łukasz Grabowski, Grzegorz Barański Measuring regenerative braking electricity generated by the city bus with internal combustion engine. *Advances in Science and Technology Research Journal* 2021, 15(3), 215-223. <https://doi.org/10.12913/22998624/140787>.

9. Sollicet G. Le, Chasse A., Van-Frank J., Walser D. Dual mode vehicle with in-wheel motor: regenerative braking optimization. *Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP Energies nouvelles*. 2011 – 14 p. DOI : 10.2516/ogst/2012013.

10. Emikia M. Szumska, Adriana Skuza, Rafał Jurecki The analysis of energy recovered by an electric vehicle during selected braking manoeuvres. *The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji* Vol. 99, № 1, 2023. – Pp. 18-29. <https://doi.org/10.14669/AM/162079>.

11. Posmetev, V. I. Results of Computer Simulation of a Braking Vehicle Energy Recovery System / V. I. Posmetev, V. O. Nikonov, V. V. Posmetev // 6-th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2020) : Conference proceedings, Sochi, Russia, 2020. – Sochi, Russia : Springer International Publishing, 2021. – P. 652-661. – DOI 10.1007/978-3-030-54817-9\_75.

12. Certificate of state registration of computer program № 2019611251 of the Russian Federation. Program for modeling the motion of a logging vehicle with energy storage devices in wheel hydraulic motors : № 2019610101 : declared 10.01.2019 : published 23.01.2019 / V. I. Posmetyev, V. O. Nikonov, V. V. Posmetyev; applicant FSBEI HE «VSTU named after G. F. Morozov».

13. Posmetyev, V. I. Theoretical justification for new technical solutions ensuring improved performance properties of logging vehicles / V. I. Posmetyev, V. O. Nikonov, V. V. Posmetyev. – Voronezh : Voronezh State Forest Engineering University named after G. F. Morozo, 2024. – 275 p.

14. Nikonov, V. O. Evaluation of the efficiency of a logging road train with energy storage systems in wheel hydraulic motors based on computer simulation / V. O. Nikonov, V. I. Posmetyev, V. V. Posmetyev // *The World of Transport and Technological Machines*. – 2018. – № 3 (62). – P. 46-54.

15. Nikonov, V. O. State of the problem and review of vehicle designs with brake energy recovery systems / V. O. Nikonov, V. I. Posmetyev, et al. // *Voronezh Scientific and Technical Bulletin*. – 2018. – Vol. 2, № 2 (24). – P. 4-19.

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ РЕКУПЕРАТИВНЫХ АМОРТИЗАТОРОВ В ПОДВЕСКЕ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ

Вадим Олегович Никонов<sup>1</sup>, Валерий Иванович Посметьев<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,

г. Воронеж, Россия,

<sup>2</sup> 8888nike8888@mail.ru

**Аннотация.** В статье обоснована актуальность разработки и практического применения рекуперативных амортизаторов для повышения энергоэффективности автомобильного транспорта за счет использования рассеиваемой в подвеске энергии. Рассмотрено преимущество линейных электромагнитных систем перед другими типами благодаря их высокому КПД, надежности и возможности интеграции в активные подвески. Разработана математическая модель вертикальной динамики автомобиля, позволяющая оценить энергию, рекуперируемую при движении по различным дорожным профилям. Выявлено критическое влияние условий эксплуатации, таких как скорость движения, масса автомобиля и параметры дорожных неровностей, на эффективность процесса рекуперации. Установлено, что максимальный энергосберегающий эффект технологии достигается в городском цикле движения для транспортных средств с меньшей снаряженной массой.

**Ключевые слова:** рекуперация, электромагнитный амортизатор, энергоэффективность, автомобильная подвеска, математическое моделирование, линейный генератор, активное демпфирование.

## EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF ELECTROMAGNETIC REGENERATIVE SHOCK ABSORBERS IN A PASSENGER CAR SUSPENSION

Vadim Olegovich Nikonov<sup>1</sup>, Valery Ivanovich Posmetev<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,

Voronezh, Russia,

<sup>2</sup> 8888nike8888@mail.ru

**Abstract.** The article substantiates the relevance of developing and practically implementing regenerative shock absorbers to improve the energy efficiency of automotive vehicles by utilizing the energy dissipated in the suspension. The advantage of linear electromagnetic systems over other types is considered, due to their high efficiency, reliability, and ability to be integrated into active suspensions. A mathematical model of the vehicle's vertical dynamics has been developed, enabling an assessment of the energy recuperated while driving on various road profiles. The critical influence of operating conditions, such as vehicle speed, mass, and road irregularity parameters, on the efficiency of the recuperation process has been identified. It has been established that the maximum energy-saving effect of the technology is achieved in urban driving cycles for vehicles with a lower curb weight.

**Keywords:** regeneration, electromagnetic shock absorber, energy efficiency, vehicle suspension, mathematical modeling, linear generator, active damping.

Автомобильный транспорт сталкивается с острой проблемой крайне низкой энергоэффективности, где лишь около 16 % энергии топлива фактически полезно

используется для движения автомобиля. Значительная часть потерь, традиционно не учитываемая, связана с рассеиванием энергии в подвеске, которая преобразует кинетическую энергию колебаний кузова, вызванных неровностями дороги, в бесполезное тепло. Исследования показывают, что для автомобиля среднего класса при скорости 90 км/ч мощность этих потерь достигает 1-1,4 кВт, что сопоставимо с потреблением бортового электрооборудования. Таким образом, система подвески представляет собой неиспользуемый резерв для повышения общей эффективности транспортного средства. Разработка технологий рекуперации этой вибрационной энергии является актуальной задачей в контексте глобального стремления к энергосбережению [1, 2].

Проблема энергоэффективности напрямую связана с экологическим аспектом, поскольку сфера перевозок ответственна за 26 % глобальных выбросов углекислого газа. Повышение расхода топлива из-за бесполезных потерь в амортизаторах ведет к росту объема вредных выбросов в атмосферу. Внедрение рекуперативных амортизаторов позволяет частично разгрузить, а в ряде случаев даже исключить генератор, снижая механическую нагрузку на двигатель внутреннего сгорания и, как следствие, расход топлива. Теоретические расчеты демонстрируют потенциал экономии топлива до 10 % только за счет восстановления энергии подвески, что в масштабах мирового автопарка составляет миллионы литров сэкономленного топлива. Следовательно, данная технология вносит прямой вклад в выполнение экологических нормативов и достижение целей устойчивого развития [3, 4].

Наиболее перспективным направлением являются электромагнитные рекуперативные амортизаторы, которые обладают рядом преимуществ перед гидравлическими и пьезоэлектрическими аналогами. Их ключевые достоинства включают высокий КПД, минимальную чувствительность к температурным колебаниям и возможность интеграции с системами активной подвески. Однако массовому внедрению препятствуют технико-экономические вызовы, такие как высокая стоимость и не всегда оптимальное соотношение массы к вырабатываемой мощности по сравнению с классическими демпферами. Преодоление этих барьеров для создания компактного, надежного и экономически оправданного решения является ключевой задачей для текущих исследований в данной области. Успешная реализация этой технологии позволит не только повысить энергоэффективность, но и открыть путь к созданию полностью автономных активных подвесок [5].

Анализ выявленных научно-исследовательских работ позволил выделить ряд наиболее перспективных конструктивных типов электромеханических подвесок с функцией рекуперации энергии (табл. 1). Данные системы принципиально различаются по способу преобразования механической энергии колебаний в электрическую, и каждая из них обладает уникальным комплектом эксплуатационных и технико-экономических характеристик [8-10].

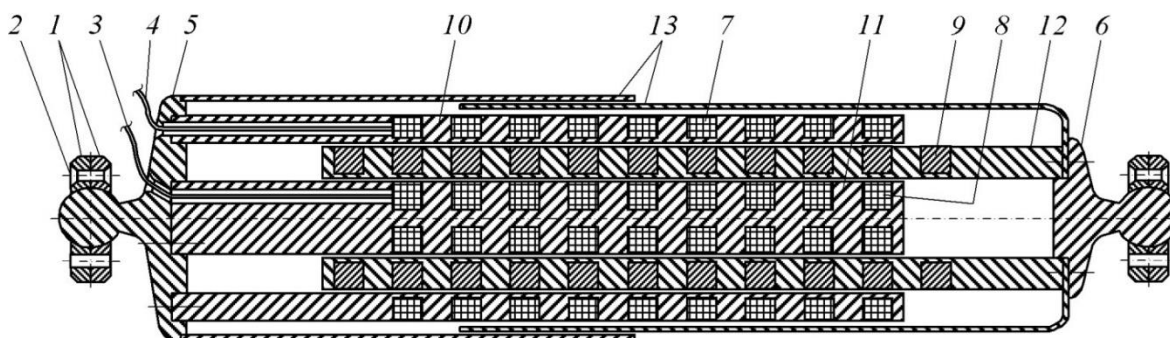
Таблица 1 – Сравнительная таблица типов электромагнитных рекуперативных подвесок  
Table 1 – Comparison table of types of electromagnetic regenerative suspensions

Тип подвески	Принцип работы	Ключевые преимущества	Основные недостатки
1 Роторные  1.1 Шарико-винтовая	Линейное движение преобразуется во вращение через высокоточный	Высокая точность, большой передаточный коэффициент,	Затухание демпфирования на высоких частотах, люфт, механический износ

1.2 Реечно-шестерёнчатая	шариковинтовой механизм Линейное движение через кинематическую пару «рейка-шестерня» преобразуется во вращение	высокий КПД, компактность  Простота конструкции, высокий КПД	Высокие потери на трение, уязвимость к ударным нагрузкам (риск поломки зубьев) Сложность установки и управления, плохая устойчивость к ударам
1.3 Рычажная	Движение подвески через рычажный механизм поворачивает вал генератора	Малый момент инерции, высокая скорость отклика	
2 Линейные	Отсутствует механический преобразователь, Подвижная часть (катушка / магнит) движется прямолинейно, напрямую генерируя ЭДС	Высокая частота отклика, высокая точность, высокий КПД, высокая надежность, идеальное соответствие ходу подвески	«Концевой эффект», большая масса и габариты, «мертвые зоны» в работе, высокая стоимость.
3 Гидро-электрические	Движение подвески приводит в действие гидронасос, создающий поток жидкости, который вращает гидромотор, соединенный с генератором	Гибкость компоновки, высокий КПД, большое демпфирующее усилие, устойчивость к ударным нагрузкам	Сложность конструкции, риск утечек жидкости, низкая удельная мощность, необходимость дополнительных компонентов (насос, мотор, клапаны)

Проведенный сравнительный анализ подтверждает, что разработка и внедрение рекуперативных электромагнитных амортизаторов является не просто способом повышения энергоэффективности транспортного средства, а стратегическим направлением в создании интеллектуальных шасси нового поколения. Помимо очевидного преимущества в виде возврата части энергии, рассеиваемой в традиционных демпферах, данные системы открывают путь к реализации адаптивного и полноценно активного управления подвеской. Это позволяет в реальном времени оптимизировать параметры демпфирования для обеспечения одновременно высокой комфортабельности и устойчивости, что недостижимо для пассивных систем.

Учитывая это, авторами предложена перспективная схема линейного электромагнитного амортизатора с кольцевым магнитом и двойным статором (рис. 1). Принцип действия рекуперативного амортизатора на основе линейного электродвигателя заключается в следующем. Амортизатор устанавливается в ходовой части транспортного средства между рамой и поддрессоренным движителем с помощью монтажных узлов и оснований. При движении по неровностям дороги основания амортизатора совершают возвратно-поступательное движение друг относительно друга. -



1 – сферические опоры; 2 – крепежные элементы; 3, 4 – силовые выводы обмоток; 5, 6 – защитные торцевые крышки; 7, 8 – наружная и внутренняя обмотки статора; 9 – кольцевой постоянный магнит; 10, 11 – неподвижные внешний цилиндр и центральный стержень; 12 – подвижный цилиндр; 13 – защитные кожухи  
Рисунок 1 – Перспективная схема рекуперативного амортизатора на постоянных магнитах

1 – spherical supports; 2 – fasteners; 3, 4 – winding power terminals; 5, 6 – protective end caps; 7, 8 – outer and inner stator windings; 9 – ring permanent magnet; 10, 11 – fixed outer cylinder and central rod; 12 – movable cylinder; 13 – protective covers

Figure 1 – Perspective diagram of a permanent magnet regenerative shock absorber

Это приводит к осевому перемещению узла, состоящего из втулки с кольцевыми постоянными магнитами, относительно неподвижно закрепленных обмоток – внутренних на стержне и внешних на втулке. Относительное движение магнитов и обмоток вызывает изменение магнитного потока через катушки, что, в соответствии с законом электромагнитной индукции, генерирует в последовательно соединенных обмотках электродвижущую силу. Величина наведенной электродвижущей силы пропорциональна скорости взаимного перемещения частей амортизатора. Таким образом, механическая энергия колебаний, которая в традиционных амортизаторах рассеивается в тепло, в данном устройстве преобразуется в электрическую энергию. Эта рекуперированная энергия через выводы отводится для питания бортовых потребителей транспортного средства. Ключевое преимущество конструкции заключается в повышенной эффективности за счет одновременного использования магнитного поля с двух сторон кольцевых магнитов как внутренними, так и внешними обмотками [6, 7].

Для оценки эффективности электромагнитного рекуперативного амортизатора была разработана математическая модель вертикальной динамики автомобиля, основанная на системе дифференциальных уравнений двухмассовой подвески.

Вертикальная динамика описывалась системой дифференциальных уравнений двухмассовой модели подвески:

$$\begin{aligned} m_s \cdot \frac{d^2 z_s}{dt^2} &= -k_s \cdot (z_s - z_u) - c_e \cdot \left( \frac{dz_s}{dt} - \frac{dz_u}{dt} \right), \\ m_u \cdot \frac{d^2 z_u}{dt^2} &= -k_s \cdot (z_s - z_u) - c_e \cdot \left( \frac{dz_s}{dt} - \frac{dz_u}{dt} \right) - k_t \cdot (z_u - z_r), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $m_s$  – поддрессоренная масса кузова, кг;  $m_u$  – неподдрессоренная масса колеса, кг;  $z_s$  – вертикальное перемещение кузова, м;  $z_u$  – вертикальное перемещение колеса, м;  $k_s$  – жесткость пружины подвески, Н/м;  $c_e$  – коэффициент демпфирования, Н·с/м;  $k_t$  – жесткость шины, Н/м;  $z_r$  – профиль дороги, м.

Мощность рекуперации рассчитывалась по уравнению:

$$P(t) = \left( \frac{k_m^2}{R} \right) \cdot \left( \frac{dz_s}{dt} - \frac{dz_u}{dt} \right)^2, \quad (2)$$

где  $P(t)$  – мгновенная мощность рекуперации, Вт;  $k_m$  – коэффициент электромеханической связи;  $R$  – сопротивление нагрузки, Ом.

Нелинейное демпфирование учитывалось через зависимость:

$$c_t(v) = c_e + c_n \cdot \tanh\left(\frac{v}{0,5}\right), \quad (3)$$

где  $c_t$  – суммарный коэффициент демпфирования, Н·с/м;  $c_n$  – нелинейная составляющая демпфирования, Н·с/м;  $v$  – относительная скорость  $\left( \frac{dz_s}{dt} - \frac{dz_u}{dt} \right)$ , м/с.

Профиль дороги для периодических неровностей, описывался как:

$$z_r(t) = A \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t). \quad (4)$$

Профиль дороги для случайных неровностей, описывался как:

$$z_r(t) = A \cdot f_{cl}(t), \quad (5)$$

где  $A$  – амплитуда неровностей, м;  $f$  – частота неровностей, Гц;  $f_{cl}(t)$  – случайная функция с заданным спектром.

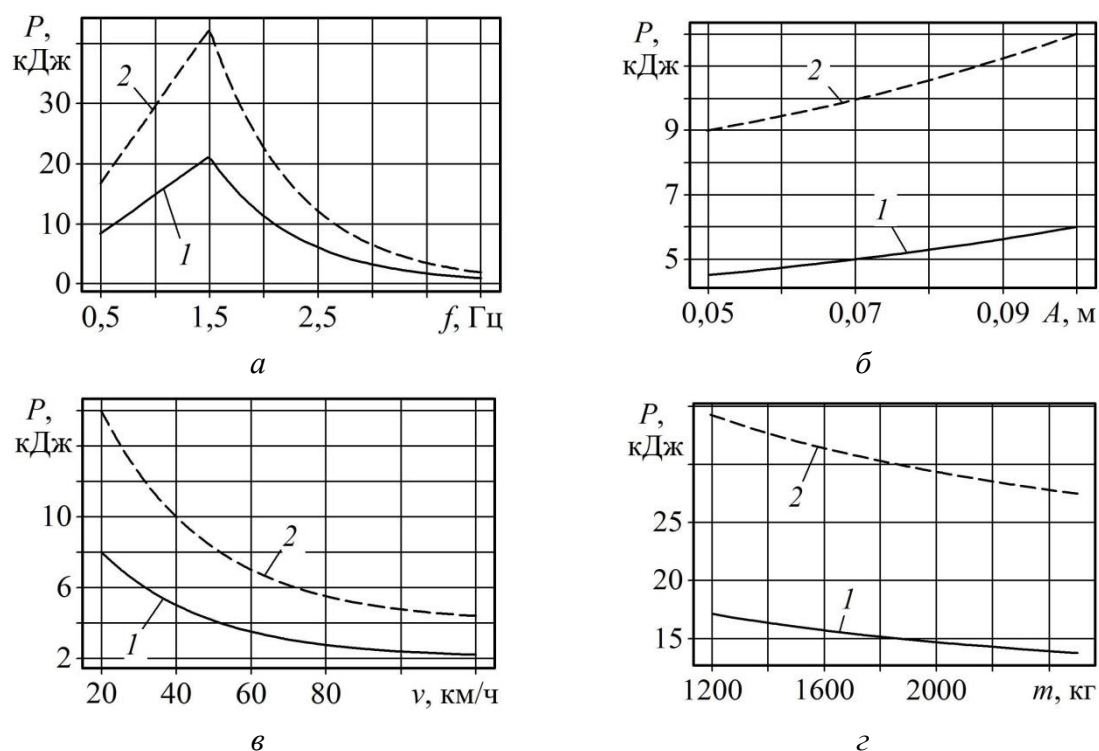
Энергия рекуперации определялась интегрированием от 0 до  $T$ :

$$E = \int P(t) dt, \quad (6)$$

где  $E$  – суммарная рекуперированная энергия, Дж;  $T$  – время движения, с.

Расчеты разработанной математической модели движения автомобиля, оснащенного электромагнитными рекуперативными амортизаторами, проводились методом численного интегрирования системы обыкновенных дифференциальных уравнений колебаний подвески 2-го порядка, преобразованных в систему уравнений 1-го порядка и решаемых методом Рунге-Кутты 4-5 порядка с переменным шагом интегрирования, определяемым требуемой точностью вычислений, с последующим определением рекуперированной энергии через численное интегрирование мощности по времени методом трапеций для различных эксплуатационных сценариев. Модель основана на ряде допущений, включая линейность характеристик пружин и демпферов, постоянство электромагнитных параметров, отсутствие учета температурных эффектов и поперечных колебаний, что позволило сфокусироваться на анализе вертикальной динамики системы. Ограничениями выступили одномерность модели, постоянство скорости движения при параметрическом анализе и стационарность дорожных условий, что обеспечило воспроизводимость результатов при сохранении адекватности физическим процессам.

Диапазоны варьирования параметров охватывали типичные условия эксплуатации: частоту неровностей 0,5-4 Гц (резонансные режимы подвески), высоту неровностей 0,05-0,1 м (от микропрофиля до выраженных дефектов), скорость 20-120 км/ч (городской и загородный циклы) и полную массу автомобиля 1200-2500 кг (от снаряженного состояния до полной загрузки), что обеспечило репрезентативность оценки энергоэффективности рекуперативной подвески в реальных дорожных условиях.



1, 2 – 4 и 8 электромагнитных рекуперативных амортизатора подвески

Рисунок 2 – Графики зависимостей рекуперированной энергии от частоты неровностей – а, высоты неровностей опорной поверхности – б, скорости движения автомобиля – в и массы автомобиля – г

1, 2 – 4 and 8 electromagnetic regenerative suspension shock absorbers

Figure 2 – Graphs of the dependence of regenerated energy on the frequency of unevenness – а, the height of the uneven supporting surface – б, the vehicle speed – в and the vehicle mass – г

На графике зависимости рекуперированной энергии от частоты неровностей (рис. 2, а) наблюдается ярко выраженный резонансный пик при 1,5 Гц с последующим экспоненциальным спадом. В диапазоне 0,5-1,5 Гц рост энергии обусловлен приближением к резонансной частоте подвески, где амплитуда колебаний максимальна, что увеличивает относительную скорость между кузовом и колесом. Пик при 1,5 Гц соответствует максимальному коэффициенту передачи колебаний от дороги к подвеске, когда относительная скорость достигает максимума, что квадратично увеличивает мощность рекуперации. В диапазоне 1,5-4 Гц резкое падение энергии объясняется уходом от резонансной зоны, уменьшением амплитуды колебаний и ростом инерционных сил, ограничивающих перемещения. Конфигурация с 8 амортизаторами сохраняет пропорциональность 2 : 1 по всей частотной характеристике, что подтверждает линейность модели по количеству генераторов.

График зависимости рекуперированной энергии от высоты неровностей (рис. 2, б) демонстрирует монотонный рост с переходом от линейной к сверхлинейной зависимости. На линейном участке (0,05-0,08 м) рост энергии пропорционален увеличению хода подвески – большие неровности вызывают большие относительные перемещения, что линейно увеличивает генерируемую ЭДС. Сверхлинейный рост (0,08-0,1 м) обусловлен нелинейными эффектами: увеличением электромагнитного демпфирования при больших скоростях, выходом на режим насыщения магнитной системы и усилением нелинейных характеристик демпфирования. Энергетический анализ показывает, что при амплитуде 10 см энергия в 3-4 раза превышает значения при

5 см, что свидетельствует о значительном потенциале рекуперации на плохих дорогах.

На графике зависимости энергии от скорости автомобиля (рис. 2, в) наблюдается экспоненциальный спад с переходом к насыщению при высоких скоростях. В оптимальной зоне (20-60 км/ч) достигается сочетание достаточной частоты воздействия и значительных амплитуд колебаний, когда подвеска успевает полноценно отрабатывать неровности. Критический спад (60-90 км/ч) обусловлен увеличением частоты воздействия при уменьшении времени контакта с неровностью, преобладанием инерционных сил над упругими силами. В режиме насыщения (> 90 км/ч) подвеска перестает эффективно обрабатывать мелкие неровности, работая в режиме ограниченного хода. Практическое значение заключается в том, что максимальная эффективность рекуперации достигается в городском цикле движения.

График зависимости энергии от массы автомобиля (рис. 2, г) показывает монотонное убывание с наибольшей скоростью в зоне нормальной загрузки. Для легкого автомобиля (1200-1500 кг) высокая энергоотдача обусловлена большими относительными ускорениями, меньшим демпфирующим эффектом массы и более выраженными резонансными явлениями. При средней загрузке (1500-2000 кг) происходит постепенное снижение эффективности из-за увеличения жесткости эффективной подвески, снижения амплитуды колебаний и увеличения роли статических деформаций. При полной загрузке (2000-2500 кг) наблюдается стабилизация на низком уровне, поскольку подвеска работает вблизи предельного хода и преобладает статическое прогибание над динамическими колебаниями. Коэффициент эффективности показывает, что при полной загрузке энергоотдача снижается на 35-40 % относительно номинальной массы.

Результаты выполненного исследования позволяют сделать следующие выводы:

1) Рекуперация энергии в подвеске обладает значительным энергосберегающим потенциалом. Традиционные амортизаторы рассеивают в тепло мощность 1-1,4 кВт, что сопоставимо с потреблением бортовой сети автомобиля. Внедрение рекуперативных систем позволяет в теории экономить до 10 % топлива, что в глобальном масштабе означает миллионы литров ежегодно и прямой вклад в снижение выбросов CO<sub>2</sub>.

2) Среди различных конструкций линейные электромагнитные амортизаторы являются наиболее перспективными. Несмотря на проблемы с массой и «концевым эффектом», они обладают ключевыми преимуществами: высокий КПД благодаря отсутствию механических преобразователей, высокая надежность и идеальное соответствие колебательному процессу, что открывает путь к созданию интеллектуальных систем активного управления.

3) Эффективность рекуперации критически зависит от условий эксплуатации. Математическое моделирование показало, что максимальная энергоотдача достигается в зоне низких частот, соответствующих резонансу подвески (~1,5 Гц), и на дорогах с выраженными неровностями. Наибольший практический эффект технология будет иметь в городском цикле движения (скорость 20-60 км/ч) на автомобилях с меньшей снаряженной массой.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ganesh M. Fodase, Praeep R. Gaikwad Review of potential of Regenerative Hybrid Suspension System as a future technology for suspension. Alochana Journal. Vol. 13, Issue 5, 2024, pp. 15-31.
2. Fu C, Lu J, Ge W, Tan C, Li B. A Review of Electromagnetic Energy Regenerative Suspension System & Key Technologies. Comput Model Eng Sci. 2023 ; 135(3) : 1779-1824. <https://doi.org/10.32604/cmesci.2022.023092>.
3. Hazril M. Isa, Wan Nor Liza Mahadi, Rahizar Ramli, Mohd. Azman Zainul Abidin A review on electromagnetic suspension systems for passenger vehicle. International Conference on Electrical,



Control and Computer Engineering Pahang, Malaysia, June 21-22, 2011, pp. 399-403.

4. Mahaboob bashal U., Akhil kumar T., Balasubramanyam L. Design and Analysis of Regenerative System in Shock Absorber. J. of Advancement in Engineering and Technology, Vol. 6, Issue 3, 2018. – 9 p.

5. Zhang Jin-qiu, Peng Zhi-zhao, Zhang Lei, Zhang Yu A Review on Energy-Regenerative Suspension Systems for Vehicles. Proceedings of the World Congress on Engineering 2013 Vol III, WCE 2013, July 3-5, 2013, London. – 4 p.

6. Патент № 2799872 C1 Российская Федерация, МПК F16F 15/03, B60G 13/14, H02K 41/02. рекуперативный амортизатор на основе линейного электродвигателя с постоянными магнитами : № 2023105791 : заявл. 13.03.2023 : опубл. 13.07.2023 / В. И. Посметьев, В. О. Никонов [и др.].

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024683232 РФ. Программа для моделирования движения лесовозного автопоезда с рекуперативными электромагнитными амортизаторами : № 2024682975 : заявл. 07.10.2024 : опубл. 11.10.2024 / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев ; заявитель ФГБОУ ВО «ВГЛУ им. Г. Ф. Морозова».

8. Посметьев, В. И. Теоретические обоснования новых технических решений, обеспечивающих повышение эксплуатационных свойств лесовозных автомобилей / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев. – Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова, 2024. – 275 с.

9. Посметьев, В. И. Оценка актуальности использования рекуперативной подвески с линейным электромагнитным генератором в конструкции лесовозного автомобиля / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. А. Зеликов // Воронежский научно-технический Вестник. – 2022. – Т. 2, № 2(40). – С. 50-63. – DOI 10.34220/2311-8873-2022-50-63.

10. Посметьев, В. И. Анализ конструкций электромагнитных амортизаторов, рекуперирующих энергию в подвесках автомобилей / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, А. С. Сеницын // Проблемы эксплуатации и перспективы развития автомобильного транспорта : Материалы Всероссийской научно-технической конференции, Воронеж, 05-06 октября 2023 года / Отв. редактор В. О. Никонов. – Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2023. – С. 31-44. – DOI 10.58168/OPPRTD\_31-44.

## REFERENCES

1. Ganesh M. Fodase, Praeep R. Gaikwad Review of the potential of Regenerative Hybrid Suspension System as a future technology for suspension. Alochana Journal. Vol. 13, Issue 5, 2024, pp. 15-31.

2. Fu C, Lu J, Ge W, Tan C, Li B. A Review of Electromagnetic Energy Regenerative Suspension System & Key Technologies. Comput Model Eng Sci. 2023; 135(3) : 1779-1824. <https://doi.org/10.32604/cmesci.2022.023092>.

3. Hazril M. Isa, Wan Nor Liza Mahadi, Rahizar Ramli, Mohd. Azman Zainul Abidin A review on electromagnetic suspension systems for passenger vehicles. International Conference on Electrical, Control and Computer Engineering Pahang, Malaysia, June 21-22, 2011, pp. 399-403.

4. Mahaboob bashal U., Akhil kumar T., Balasubramanyam L. Design and Analysis of Regenerative System in Shock Absorber. J. of Advancement in Engineering and Technology, Vol. 6, Issue 3, 2018. – 9 p.

5. Zhang Jin-qiu, Peng Zhi-zhao, Zhang Lei, Zhang Yu A Review on Energy-Regenerative Suspension Systems for Vehicles. Proceedings of the World Congress on Engineering 2013 Vol III, WCE 2013, July 3-5, 2013, London. – 4 p.m.

6. Patent № 2799872 C1 Russian Federation, IPC F16F 15/03, B60G 13/14, H02K 41/02. Regenerative shock absorber based on a linear electric motor with permanent magnets: № 2023105791 : declared 13.03.2023 : published 13.07.2023 / V. I. Posmetyev, V. O. Nikonov [et al.].

7. Certificate of state registration of computer program № 2024683232 Russian Federation. Program for simulating the movement of a timber road train with regenerative electromagnetic shock absorbers : № 2024682975 : declared 07.10.2024 : published 11.10.2024 / V. I. Posmetyev, V. O. Nikonov, V. V. Posmetyev ; applicant : FSBEI HE «VSTU named after G. F. Morozov».

8. Posmetyev, V. I. Theoretical justification for new technical solutions ensuring improved performance of logging vehicles / V. I. Posmetyev, V. O. Nikonov, V. V. Posmetyev. – Voronezh :

Voronezh State Forest Engineering University named after G. F. Morozov, 2024. – 275 p.

9. Posmetev, V. I. Assessment of the relevance of using a regenerative suspension with a linear electromagnetic generator in the design of a logging truck / V. I. Posmetev, V. O. Nikonov, V. A. Zelikov // Voronezh Scientific and Technical Bulletin. – 2022. – Vol. 2, № 2 (40). – P. 50-63. – DOI 10.34220/2311-8873-2022-50-63.

10. Posmetyev, V. I. Analysis of the designs of electromagnetic shock absorbers that recuperate energy in vehicle suspensions / V. I. Posmetyev, V. O. Nikonov, A. S. Sinitsyn // Problems of operation and prospects for the development of automobile transport : Proceedings of the All-Russian scientific and technical conference, Voronezh, October 5-6, 2023 / Editor-in-chief V. O. Nikonov. – Voronezh : Voronezh State Forest Engineering University named after G. F. Morozov, 2023. – P. 31-44. – DOI 10.58168/OPPRTD\_31-44.

## АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ РЕКУПЕРАЦИИ ЭНЕРГИИ В ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИНАХ

В.И. Посметьев<sup>1</sup>, В.О. Никонов<sup>2</sup>, М.А. Савинков<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,  
г. Воронеж, Россия,  
<sup>2</sup>8888nike8888@mail.ru

**Аннотация.** В статье обоснована актуальность разработки систем рекуперации энергии в условиях истощения ископаемых ресурсов и ужесточения экологических требований к транспортно-технологическим машинам. Рассмотрены перспективные технологии рекуперации кинетической, тепловой, потенциальной энергии и вибраций, а также проанализированы данные об их эффективности. Установлена прямая зависимость эффективности систем рекуперации от типа машины и ее рабочих режимов, а также доказана высокая результативность гибридных решений. Выявлено, что ключевыми направлениями для дальнейших исследований являются разработка интеллектуальных систем управления, создание новых материалов и комплексная интеграция рекуперативных систем в конструкцию машин.

**Ключевые слова:** рекуперация энергии, транспортно-технологические машины, энергоэффективность, гибридные системы, кинетические системы, тепловые системы, расход топлива.

## ANALYSIS OF THE POTENTIAL OPPORTUNITIES FOR THE USE OF ENERGY RECOVERY SYSTEMS IN TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL VEHICLES

V.I. Posmetev<sup>1</sup>, V.O. Nikonov<sup>2</sup>, M.A. Savinkov<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup> Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,  
Voronezh, Russia,  
<sup>2</sup>8888nike8888@mail.ru

**Abstract.** The article substantiates the relevance of developing energy recovery systems in the context of the depletion of fossil resources and stricter environmental requirements for transport and technological machines. Promising technologies for the recovery of kinetic, thermal, potential energy and vibrations are considered, and data on their effectiveness is analyzed. A direct dependence of the efficiency of recovery systems on the type of machine and its operating modes has been established, and the high effectiveness of hybrid solutions has been proven. It was revealed that the key directions for further research are the development of intelligent control systems, the creation of new materials and the comprehensive integration of recovery systems into machine design.

**Keywords:** energy recovery, transport and technological machines, energy efficiency, hybrid systems, kinetic systems, thermal systems, fuel consumption.

В настоящее время актуальными проблемами во всем мире являются стремительное истощение запасов ископаемого топлива и прогрессирующее загрязнение окружающей среды. Значительный вклад в усугубление этих глобальных вызовов вносит парк транспортно-технологических машин, остающийся одним из основных потребителей энергоресурсов. На его долю приходится существенная часть выбросов парниковых газов и

других вредных веществ, что обуславливает необходимость поиска кардинальных путей повышения энергоэффективности и сокращения экологического следа. Особую остроту данная проблема приобретает для сектора коммерческого и тяжелого транспорта, а также специализированной техники, где повсеместный переход к полной электрификации в краткосрочной перспективе представляется затруднительным [1-5].

При работе традиционных транспортно-технологических машин значительная доля энергии, получаемой из топлива, бесполезно рассеивается в окружающую среду. Анализ литературных данных показывает, что помимо известных потерь в системе торможения (до 30-50 % энергии движения), огромные объемы энергии рассеиваются в виде тепла через системы охлаждения и выхлопа двигателя (до 60-70% от энергии сгорания топлива), а также в виде механических колебаний и вибраций через системы подвески и шины. Эти потери не только снижают общий КПД машины, но и приводят к дополнительным затратам на охлаждение, повышают износ компонентов и усугубляют тепловое загрязнение [6-10].

Для решения этой проблемы, российскими и зарубежными учеными исследуются, разрабатываются и внедряются различные рекуперативные системы, позволяющие повысить общий КПД транспортных средств. Данные системы основаны на преобразовании рассеиваемой (вторичной) энергии в полезную электрическую, механическую или гидравлическую энергию. К основным из них относят: рекуперативное торможение (кинетические системы), преобразующие кинетическую энергию в электрическую посредством электромотора-генератора; системы утилизации тепла выхлопных газов и систем охлаждения (тепловые системы), такие как термоэлектрические генераторы на эффекте Зеебека, циклы Ренкина и турбокомпаундирование; системы рекуперации энергии вибраций подвески и кузова, использующие электромагнитные, пьезоэлектрические или гидравлические принципы. Отдельную группу составляют гидравлические системы рекуперации (гибридные гидромеханические), в которых кинетическая энергия торможения аккумулируется в пневмогидроаккумуляторах в виде энергии сжатого газа, и чисто механические системы, использующие маховики для накопления кинетической энергии. Перспективным направлением является рекуперация потенциальной энергии груза, которая рассеивается при его опускании в подъемно-транспортном оборудовании (краны, лифты, гидроманипуляторы) и может быть преобразована в электрическую энергию с помощью реверсивных электроприводов. Кроме того, ведутся исследования по рекуперации энергии в динамически нагруженных сцепных устройствах автопоездов и прицепов, где демпфирующие элементы могут оснащаться генераторами для преобразования энергии относительных продольных колебаний. Отдельное направление представляют собой гибридные системы, комбинирующие несколько источников для повышения эффективности. Каждый из этих методов имеет свою область применения, эффективность и уровень технологической готовности [1-20].

Системное внедрение технологий рекуперации энергии в мировом парке транспортных средств позволит не только существенно снизить потребление топлива и выбросы CO<sub>2</sub>, но и уменьшить зависимость от ископаемых ресурсов. Для транспортно-технологических машин, характеризующихся интенсивными режимами работы с частыми циклами разгона-торможения и значительными тепловыми нагрузками, потенциал энергосбережения является особенно высоким. Это создает предпосылки для разработки более экономичных и экологических образцов техники с повышенной энергетической самостоятельностью, вплоть до создания энергонезависимых вспомогательных систем [11-18].

Учитывая многообразие подходов и их комплексное влияние на конструкцию и эффективность транспортных средств, представляет значительный научный и

практический интерес детальный анализ принципов работы, потенциала и областей применения различных систем рекуперации энергии. В данной статье проводится комплексное исследование данного вопроса с фокусом на транспортно-технологические машины.

В исследовании Pawel Ruchala и др. выполнена оценка принципиальной возможности рекуперации кинетической энергии из возмущенного воздушного потока, создаваемого движущимся автомобилем. Проведенные в аэродинамической трубе испытания масштабной модели позволили точно составить подробную карту распределения скорости и направления воздушного потока в следе за автомобилем. Результаты показали, что область максимальной скорости воздуха, а, следовательно, и плотности кинетической энергии, локализована непосредственно за задней частью кузова. Ключевая идея предлагаемой системы энергосбора заключается в размещении стационарных преобразователей (микротурбин) на придорожной инфраструктуре, которые будут рекуперировать энергию, уже потраченную транспортным средством на преодоление аэродинамического сопротивления. Основное преимущество такого подхода – отсутствие необходимости установки дополнительного оборудования на сам автомобиль, что исключает увеличение его массы и стоимости. Восстановленная энергия потенциально может использоваться для питания маломощной дорожной инфраструктуры. Однако практическая реализация системы сопряжена с существенными трудностями: энергия в следе быстро рассеивается, а ее плотность, несмотря на пиковые значения, в целом невелика и распределена в пространстве. Главным недостатком является крайне короткое время взаимодействия преобразователя с энергетическим импульсом от каждого автомобиля и отсутствие данных о реальном КПД гипотетических улавливающих устройств, что ставит под вопрос общую эффективность и экономическую целесообразность такого решения [3].

В исследовании Bingyin Feng и др. представлены результаты комплексного анализа механическо-электрическо-гидравлических гибридных систем хранения энергии для рекуперации энергии на транспортных средствах. Основное внимание уделено гидравлическим системам рекуперации, которые обладают высокой удельной мощностью и эффективностью в циклах с частыми разгонами и торможениями. Принцип работы основан на преобразовании кинетической энергии при торможении в гидравлическую энергию посредством насос-моторов с аккумулярованием в гидроаккумуляторах высокого давления, с последующей рекуперацией накопленной энергии для помощи силовой установке при разгоне. Рассмотрены три базовые схемы: последовательная, параллельная и последовательно-параллельная, а также их применение в легковом, коммерческом и специальном транспорте. Установлено, что ключевым преимуществом гидравлических систем является высокая динамика энергообмена, а основным недостатком – низкая плотность энергии. Наиболее перспективным направлением признана интеграция гидравлических аккумуляторов с электрическими накопителями в составе гибридных систем, что даёт возможность оптимально сочетать их достоинства. Эффективность таких систем решающим образом зависит от применения оптимизированных стратегий управления [4].

В научной работе Bowen C. R. Проанализированы технологии рекуперации энергии для систем мониторинга давления в шинах с целью замены традиционных батарей. Основное внимание уделяется рекуперации кинетической энергии вращения колеса и энергии деформации шины в пятне контакта. Среди рассмотренных подходов доминируют пьезоэлектрические преобразователи, преобразующие механические напряжения непосредственно в электрический заряд. Пьезоэлектрические генераторы реализуются в двух основных конфигурациях: инерционные резонансные системы на основе консольных балок, устанавливаемых на обод колеса, и системы прямого

деформирования в виде гибких элементов, интегрируемых в корд шины. Преимущества включают высокую плотность энергии, совместимость с микроэлектромеханическими технологиями и отсутствие необходимости внешнего питания. К недостаткам относятся ограниченная полоса пропускания, хрупкость керамических материалов и чувствительность к температурным воздействиям. Сравнительный анализ показывает, что пьезоэлектрические системы демонстрируют превосходство по удельной мощности перед электромагнитными преобразователями, но требуют сложных схем согласования. Критическими задачами остаются разработка широкополосных систем для переменных скоростей вращения, обеспечение механической надежности и создание эффективных систем накопления энергии. Несмотря на существующие проблемы, достигнутый уровень генерации (десятки-сотни микроватт) подтверждает практическую реализуемость полностью автономных систем мониторинга [5].

В статье Davide Di Battista и др. исследована система утилизации тепловой энергии отработавших газов дизельного двигателя с использованием турбокомпаундирования. Рассматривается установка дополнительной турбины в выпускной тракт за основной турбиной турбокомпрессора. Принцип работы системы основан на преобразовании остаточной энтальпии газов в механическую мощность. Ключевой особенностью является компромисс между генерируемой мощностью и ростом противодавления, приводящим к увеличению насосных потерь двигателя. Результаты моделирования показали, что чистое снижение удельного расхода топлива достигает 8 % в зоне высоких нагрузок. Технология демонстрирует потенциал для интеграции в гибридные силовые установки, обеспечивая генерацию электроэнергии при высоком уровне технологической готовности [6].

В статье Kok Gnee Chua и др. проведён анализ рекуперации кинетической энергии дождевых капель с использованием пьезоэлектрических преобразователей. Принцип работы системы основан на прямом пьезоэлектрическом эффекте: механическая энергия удара капли преобразуется в колебания, которые пьезоэлектрический материал трансформирует в электрический заряд. Исследованы различные конструкции преобразователей – консольные, мостовые и мембранные, а также схемы управления для эффективного съёма энергии. Установлено, что основными проблемами являются низкий коэффициент полезного действия (менее 1 %) и малая плотность мощности существующих систем. Ключевые ограничения связаны с потерями энергии при ударе, неоптимальной геометрией преобразователей и отсутствием специализированных электронных схем, адаптированных к затухающим колебаниям. Перспективы развития связаны с оптимизацией материалов и конструкций, с разработкой эффективных преобразователей энергии и созданием гибридных систем для комплексного использования нескольких видов возобновляемой энергии [7].

Статья Ming Yuan и др. посвящена анализу технологий сбора акустической энергии, заключающегося в преобразовании энергии звуковых волн в электрическую. Основное внимание уделяется трем типам рекуперативных систем, используемых для усиления слабого звукового давления: резонаторам Гельмгольца, четвертьволновым резонаторам и структурам на основе акустических метаматериалов. Принцип их работы основан на создании акустического резонанса, который фокусирует и усиливает звуковое давление в зоне расположения преобразователя энергии – пьезоэлектрического, электромагнитного или трибоэлектрического. В качестве наиболее перспективной системы выделяются устройства на основе акустических метаматериалов. Их ключевые преимущества – субволновые масштабы, что позволяет создавать компактные низкочастотные резонаторы, а также эффекты локального резонанса для эффективного преобразования энергии. Основной недостаток – сложность обеспечения широкополосности. Автор заключает, что данная технология обладает значительным

потенциалом для питания маломощных устройств, однако для практической реализации требуется решение задач интеграции таких систем в инженерные конструкции и разработки эффективных систем управления энергией [8].

Исследование Oluwalana O. J. представляет комплексный анализ технологии солнечных электрических транспортных средств и фотоэлектрических систем, интегрированных в конструкцию автомобилей. На основе систематического обзора научных публикаций авторы исследуют эволюцию, современное состояние и перспективы развития этих технологий. Особое внимание уделяется достижениям в области повышения эффективности фотоэлектрических преобразователей, применению легких материалов и методам интеграции, а также проблемам энергоэффективности, климатической адаптации и экономической целесообразности. В качестве ключевого элемента рассматривается рекуперативная система торможения. Её принцип действия основан на преобразовании кинетической энергии транспортного средства в электрическую при торможении с последующей её аккумуляцией. Интеграция данной системы с фотоэлектрическими панелями и накопителями энергии позволяет оптимизировать общее энергопотребление. Согласно результатам исследований, такая комбинация обеспечивает увеличение запаса хода до 30,6 %. К основным проблемам относят сложность управления энергопотоками при переменных условиях эксплуатации и необходимость совершенствования прогнозных алгоритмов [9].

В статье Royale A. и Simic M. исследуется перспективная гибридная система рекуперации тепловой энергии для транспортных средств, основанная на прямом отборе тепла из камеры сгорания двигателя. В отличие от традиционных подходов, использующих тепло выхлопных газов, предлагаемая система размещает термоэлектрический генератор непосредственно в цилиндре, что позволяет преобразовывать в электричество высокопотенциальную тепловую энергию (500-900 °C) на стадии сгорания топлива. Принцип работы основан на комбинации термоэлектрического преобразования (эффект Зеебека) и парового цикла Ренкина. Ключевое преимущество – повышение общего КПД силовой установки за счет утилизации энергии, традиционно теряемой в окружающую среду, и создание мощного источника электроэнергии для гибридного привода. К основным техническим проблемам реализации относятся сохранение геометрии и степени сжатия камеры сгорания, обеспечение термостойкости конструкции с применением тугоплавких материалов, организация эффективного охлаждения модуля и электромагнитная совместимость с системой зажигания. Авторы приходят к выводу, что, несмотря на значительный потенциал для снижения расхода топлива и выбросов, предложенная концепция требует дальнейших исследований, проектирования прототипа и испытаний для подтверждения своей практической осуществимости и надежности в условиях экстремальных термических и механических нагрузок [10].

Maciejewski I. и др. исследовали рекуперативную систему активной горизонтальной подвески сиденья, предназначенную для одновременного гашения вибраций и регенерации энергии. В качестве исполнительного механизма и генератора используется синхронный двигатель с постоянными магнитами. Ключевой особенностью системы является её четырёхквadrантный режим работы: в двух квадрантах двигатель потребляет энергию для активного гашения вибраций, а в двух других – переходит в режим рекуперативного торможения, преобразуя кинетическую энергию колебаний в электрическую. Управление переключением между режимами осуществляется на основе знака произведения желаемого усилия и относительной скорости подвески. Сравнительные испытания с пассивной и активной системами под случайными вибрациями показали, что рекуперативная система по эффективности виброизоляции занимает промежуточное положение. Её главное преимущество –

энергоэффективность. Анализ мощности показал, что система способна генерировать электроэнергию, причём наибольшая рекуперация наблюдалась при вибрациях с узким частотным спектром и высокой амплитудой. Основным выводом является подтверждение возможности создания гибридной системы, сочетающей функции активного гашения вибраций и регенерации энергии, хотя количество восстанавливаемой энергии на данном этапе требует дальнейшей оптимизации для практического применения [11].

В статье Zhu В. и др. исследуется проблема низкого термического КПД двигателей внутреннего сгорания, значительная часть энергии которых рассеивается через системы охлаждения и выхлопа. Для её решения предложена рекуперативная система, использующая технологию теплового аккумулятора на основе материалов с фазовым переходом. Ключевая особенность системы – способность накапливать, а не только использовать в реальном времени тепло выхлопных газов. Принцип работы заключается в передаче тепла от выхлопных газов через теплообменник теплоаккумулирующему материалу – гидрату гидроксида бария с температурой фазового перехода 78 °С. Накопленная энергия в дальнейшем используется для предварительного подогрева охлаждающей жидкости двигателя при холодном пуске. Разработана и верифицирована экспериментально математическая модель системы теплового управления. Анализ четырёх режимов нагрева показал, что комбинированное использование теплового аккумулятора и теплообменника утилизации тепла выхлопных газов является наиболее эффективным. Результаты моделирования в различных циклах движения продемонстрировали максимальное сокращение времени прогрева на 22,52 % и снижение расхода топлива на 24,7 % по сравнению со стандартным холодным пуском [12].

В статье Ji Р. и др. исследована рекуперативная система накопления энергии для транспортных средств, основанная на комбинации маховикового накопителя и магнитной муфты. Принцип работы устройства основан на бесконтактной передаче крутящего момента посредством осевого перемещения магнитного кольца, которое изменяет степень магнитного взаимодействия между ведущим и ведомым валами. Это позволяет управлять процессом накопления энергии в маховике при торможении и ее отдачи при разгоне. Ключевыми особенностями системы являются плавное бесступенчатое соединение валов, отсутствие механического контакта, а также функции защиты от перегрузок. Экспериментальные исследования подтвердили высокую эффективность устройства, достигшую 93 % при передаче крутящего момента 240 Н · м и скорости вращения 1200 об/мин. Моделирование в стандартных ездовых циклах показало, что эффективность рекуперации энергии торможения достигает 35,59 %. Полученные результаты демонстрируют перспективность применения магнитной муфты в системах рекуперативного торможения для повышения энергоэффективности транспортных средств [13].

Masser R. и др. исследовали метод снижения расхода топлива коммерческих автомобилей с самосвальными кузовами за счет оптимизации управления системой гидравлической рекуперации энергии. Принцип работы системы основан на использовании гидравлического насоса-мотора, соединенного с карданным валом. При торможении агрегат функционирует в режиме насоса, запасая энергию в гидроаккумуляторе за счет сжатия газа. При разгоне система работает в режиме мотора, возвращая накопленную энергию для помощи двигателю внутреннего сгорания. Ключевым преимуществом является применение существующего гидравлического контура автомобиля, что снижает стоимость внедрения [14].

В статье Jie Zhang анализируется проблема утилизации тепловой энергии, выделяющейся при торможении автомобиля. Данное направление, недостаточно



изученное по сравнению с рекуперацией кинетической энергии. В качестве решения предложена конструкция системы рекуперации на основе термоэлектрического генератора. Принцип работы основан на эффекте Зеебека: термоэлектрические модули, установленные на внутренней поверхности тормозного диска, нагреваются, а их холодные стороны активно охлаждаются фазовыми теплоотводами, использующими набегающий воздушный поток. Создаваемый перепад температур преобразуется в электрическую энергию. Ключевыми особенностями системы являются интеграция в конструкцию тормозного диска и применение эффективного пассивного охлаждения. К преимуществам отнесены модульность, удобство обслуживания и универсальность. Отмечается, что система позволяет повысить общую энергоэффективность транспортного средства [15].

Rausa G. провел в своей работе всесторонний обзор рекуперативных энергетических систем, предназначенных для повышения эффективности полностью электрических и гибридных транспортных средств. Исследование сфокусировано на трех основных категориях: механических, тепловых и гибридных или экологических решениях, таких, как солнечные и ветровые. В рамках механического восстановления энергии детально анализируются системы рекуперации кинетической энергии: рекуперативные подвески, преобразующие колебания в электричество с помощью электрогенераторов, а также пьезоэлектрические системы, преобразующие вибрации и деформации в ток. Тепловое восстановление энергии рассматривает термоэлектрические генераторы, работающие на эффекте Зеебека для конверсии тепла выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания, и системы на основе органического цикла Рэнкина. В гибридных решениях изучается комбинация механических и тепловых систем, а также интеграция солнечных панелей и ветрогенераторов. Принцип работы этих систем основан на преобразовании рассеиваемой энергии в полезную электрическую. Ключевые выводы автора заключаются в том, что, несмотря на значительный прогресс, основными проблемами остаются невысокий коэффициент полезного действия, долговечность материалов и сложность интеграции в транспортное средство без ухудшения других характеристик. Преимущества включают повышение общей энергоэффективности, увеличение запаса хода и снижение выбросов. В качестве будущего развития автор видит необходимость в совершенствовании материалов, оптимизации систем управления энергией и создании гибридных решений, комбинирующих несколько технологий для максимизации сбора энергии [16].

Статья Li J. и др. посвящена проблеме низкой энергоэффективности гидравлических экскаваторов, в частности, рекуперации потенциальной энергии стрелы. В качестве решения исследуется механическая система накопления энергии с маховиком, интегрированная в стандартную гидравлическую систему со следящим нагрузочным регулированием. При опускании стрелы насос-мотор, связанный с маховиком, работает в двигательном режиме, преобразуя энергию потока жидкости из цилиндра в кинетическую энергию вращения маховика. При последующем подъеме тот же агрегат функционирует как насос, используя запасенную энергию маховика для подачи жидкости в цилиндр, снижая нагрузку на основной насос. Основным преимуществом системы является высокая энергоэффективность, демонстрирующая экономию энергии до 48,9 % в ненагруженном рабочем цикле. Дополнительное преимущество – высокое значение удельной энергоемкости маховика по сравнению с гидравлическими аккумуляторами. К недостаткам относится более низкое быстродействие по сравнению с дроссельными системами. Вывод исследования подтверждает перспективность применения маховиковых систем для значительного снижения энергопотребления спецтехники [17].

Статья Rudzki C. и др. посвящена исследованию влияния параметров гидроаккумулятора на эффективность системы рекуперации энергии в гидроприводе

рабочего оборудования колесного погрузчика. Для этого была разработана верифицированная совместная модель, интегрирующая механическую подсистему, созданную в среде многокомпонентного динамического моделирования, и гидравлическую подсистему привода подъема стрелы. Модель базировалась на реальном погрузчике, а ее параметры были идентифицированы посредством натурных экспериментов, что обеспечило высокую достоверность имитации рабочих процессов. Принцип работы рекуперативной системы основан на накоплении потенциальной энергии опускающейся стрелы с грузом. Вместо слива жидкости в бак при опускании, она направляется в гидроаккумулятор, где энергия запасается в виде давления сжатого газа. В последующем цикле подъема накопленная энергия используется для начального перемещения стрелы, снижая нагрузку на основной насос. Результаты моделирования показали, что эффективность системы критически зависит от предварительного давления и объема аккумулятора. Установлено, что снижение объема на 75 % приводит к падению количества рекуперированной энергии на 52 %. Максимальная экономия энергии за цикл составила 11 % при оптимальных параметрах аккумулятора. Направлением дальнейших исследований определено изучение влияния переменной массы груза и алгоритмов управления системой [18].

В статье Aridi R. и др. проводится комплексный анализ систем рекуперации тепла в системах вентиляции и кондиционирования. Исследование систематизирует технологии утилизации тепловой энергии, разделяя их на два ключевых направления: использование сбросного тепла для сторонних нужд и его применение для повышения энергоэффективности самой системы. Основное внимание уделяется сравнительной оценке рекуперативных устройств. Рассматриваются принципы работы, преимущества и недостатки ключевых типов теплоутилизаторов. Энтальпийные роторы и мембранные пластинчатые теплообменники демонстрируют высокую эффективность за счет передачи как явного, так и скрытого тепла, что особенно значимо в условиях влажного климата. Тепловые трубы и термосифоны, обладая пассивной работой и надежностью, рекуперировать только явное тепло. Анализ показывает, что выбор оптимального устройства определяется климатическими условиями: системы с рекуперацией влаги наиболее эффективны в регионах с высокой влажностью, тогда как геотермальные теплообменники лучше проявляют себя в жарком сухом климате [19].

Статья Zhou W. и др. посвящена анализу технологии сбора вибрационной энергии на основе пьезоэлектрического эффекта. Данная технология рассматривается как перспективное решение для автономного питания маломощных устройств. Принцип работы основан на прямом пьезоэлектрическом эффекте, при котором деформация пьезоматериала под действием механических вибраций генерирует электрический заряд. Авторы исследуют три основных режима работы пьезоэлементов: поперечный, продольный и сдвиговый. Сдвиговый режим демонстрирует наибольшую эффективность преобразования энергии, однако его практическая реализация сопряжена с техническими сложностями. В статье проводится классификация устройств по типу внешнего воздействия на резонансные и ударные, анализируются их преимущества и ограничения. К ключевым проблемам технологии относятся узкий рабочий частотный диапазон резонансных систем и ограниченная выходная мощность [20].

Проведенный анализ современных научных исследований и инженерных разработок демонстрирует значительное разнообразие подходов к рекуперации энергии на транспортно-технологических машинах. Однако для комплексной оценки их практического потенциала и выбора наиболее эффективных решений для конкретных применений необходим переход от качественного описания к количественному сопоставлению. Систематизация данных, извлеченных из рассмотренных источников, позволяет провести такое сравнение по ключевым показателям: эффективности

преобразования, влиянию на расход топлива и энергосберегающему потенциалу в характерных рабочих циклах.

На основе углубленного изучения научных статей были сформированы сводные таблицы 1-5, которые наглядно ранжируют рассмотренные технологии по их энергетической отдаче. В области рекуперации кинетической энергии (табл. 1) данные показывают, что, хотя традиционные электромотор-генераторы лидируют по эффективности (60-70 %), альтернативные системы, такие как гидравлические аккумуляторы и маховики, находят свою нишу в технике с интенсивными циклами «разгон-торможение», демонстрируя экономию топлива до 20-30 %. Наиболее значительные количественные результаты, согласно анализу, достигаются в секторе рекуперации тепловой и потенциальной энергии (табл. 2 и 3). Так, применение теплового аккумулятора с фазовым переходом позволяет добиться существенного снижения расхода топлива на 24,7 % за счет оптимизации холодного пуска. А маховиковая система на экскаваторе обеспечивает экономию энергии в почти 50 % рабочего цикла, что подтверждает высочайший потенциал рекуперации не в тяговых, а в технологических операциях. Важно отметить, что количественные показатели сильно зависят от режимов работы. Эффективность, заявленная в исследованиях, достигается в определенных, зачастую оптимальных, условиях. Результативность системы с гидроаккумулятором на погрузчике напрямую определяется его предварительным давлением и объемом, а эффективность турбокомпаундирования достигает 8 % лишь в зоне высоких нагрузок.

Таблица 1 – Рекуперация кинетической энергии

Table 1 – Kinetic energy recovery

Технология	Принципа работы	Эффективность рекуперации (на цикл)	Потенциал снижения расхода топлива	Область применения	Уровень технологической готовности
Обратимые электромашин	Преобразование кинетической энергии в электрическую с зарядкой АКБ	60-70 %	До 25-30 % в городском цикле	Легковые и коммерческие автомобили, гибриды	Высокий (серийное производство)
Гидравлический аккумулятор	Преобразование кинетической энергии в давление сжатого газа	50-65%	20-30 % для техники с частыми остановками	Мусоровозы, автобусы, погрузчики	Средний (опытные парки)
Маховик с магнитной муфтой	Накопление энергии во вращающемся маховике	35 %	—	Перспективные разработки для транспорта	Средний (экспериментальные образцы)

Таблица 2 – Рекуперация тепловой энергии  
Table 2 – Thermal energy recovery

Технология	Источник тепла (принцип)	Преобразованная мощность (эффективность)	Влияние на расход топлива	Примечания
Турбокомпаундирование	Отработавшие газы (дополнительная турбина)	–	Снижение удельного расхода топлива на 8 % (зона высоких нагрузок)	Высокая технологическая готовность, но рост противодействия
Термоэлектрический генератор	Тепло выхлопных газов (эффект Зеебека)	2-5 % от энергии выхлопа	2-4 % (за счет питания бортовой сети)	Высокая надежность, но низкий КПД и дорогие материалы
Тепловой аккумулятор с фазовым переходом	Отработавшие газы (нагрев материала с последующим использованием)	–	Снижение расхода топлива на 24,7 % и времени прогрева на 22,52 % (при холодном пуске)	Эффективность максимальна в комбинации с теплообменником
Термоэлектрический генератор в тормозном диске	Кинетическое тепло торможения	–	Повышение общей энергоэффективности	Перспективная, но малоизученная технология

Таблица 3 – Рекуперация потенциальной энергии и энергии рабочих органов  
Table 3 – Recovery of potential energy and energy of working bodies

Технология	Объект рекуперации (принцип)	Достижимая экономия энергии	Применение	Ключевое преимущество
Гидроаккумулятор	Потенциальная энергия опускающейся стрелы погрузчика	До 11 % за рабочий цикл (при оптимизации параметров)	Колесные погрузчики, экскаваторы	Эффективность критически зависит от предварительного давления и объема аккумулятора
Маховичный накопитель	Потенциальная энергия стрелы экскаватора	48,9 % в ненагруженном рабочем цикле	Гидравлические экскаваторы	Высокая удельная энергоёмкость по сравнению с гидроаккумуляторами
Реверсивный электропривод	Потенциальная энергия опускаемого груза	До 40-60 %	Краны, лифты, гидроманипуляторы	Стандартное решение для подъемно-транспортной техники

Таблица 4 – Рекуперация энергии вибраций и колебаний  
Table 4 – Recovery of vibration and oscillation energy

Технология	Принцип (конструкция)	Генерируемая мощность	Эффективность (применение)	Недостатки
Активная подвеска с рекуперацией	Электродвигатель-генератор	—	Система энергоэффективна, но количество энергии невелико. Наибольшая рекуперация при узком спектре и высокой амплитуде	Промежуточная эффективность виброизоляции между пассивной и активной системами
Пьезоэлектрические генераторы (в шинах)	Деформация пьезоэлемента в пятне контакта (на ободе)	Десятки-сотни микроватт	Достаточно для автономного питания датчиков давления в шинах. Высокая удельная мощность	Узкая полоса пропускания, хрупкость, чувствительность к температуре
Пьезоэлектрические генераторы (общие)	Прямой пьезоэффект (поперечный, продольный, сдвиговый режимы)	Низкая	Перспективны для питания маломощных устройств. Наиболее эффективен сдвиговый режим	Низкая выходная мощность, узкий частотный диапазон (для резонансных систем)

Проведенный комплексный анализ позволяет сформулировать ряд ключевых выводов, подтверждающих значительный энергосберегающий потенциал систем рекуперации для транспортно-технологических машин. Количественная оценка демонстрирует, что рекуперация потенциальной энергии стрелы экскаватора позволяет достичь экономии энергии до 48,9 % в рабочем цикле, а системы утилизации тепла выхлопных газов способны снизить удельный расход топлива примерно на 8 %. При этом анализ выявил отсутствие универсального технологического решения, так как эффективность каждой системы жестко привязана к типу и режиму работы конкретной машины. Техника с частыми циклами «разгон-торможение» максимально эффективно использует кинетические системы, тогда как машины с рабочими органами – системы рекуперации потенциальной энергии. Важнейшим направлением является приоритет гибридных решений, которые комбинируют преимущества разных технологий, таких как гидравлические и электрические накопители, для достижения синергетического эффекта. Установлено, что основным барьером для массового внедрения является не только КПД преобразования, но и сложность системной интеграции рекуперативных систем в конструкцию машины без ухудшения ее массогабаритных и стоимостных характеристик, где ключевую роль играют алгоритмы управления.

Таблица 5 – Гибридные системы рекуперации энергии  
Table 5 – Hybrid energy recovery systems

Технология	Принцип работы (источник)	Количественная оценка эффективности	Область применения	Примечания
Солнечные панели и рекуперативное торможение	Комбинация фотоэлектрических панелей и рекуперации кинетической энергии	Увеличение запаса хода до 30,6 %	Электромобили	Основная проблема – сложность управления энергопотоками
Гибридная гидроэлектрическая система	Комбинация гидравлического аккумулятора (высокая мощность) и АКБ (высокая плотность энергии)	Эффективность решающим образом зависит от стратегии управления	Коммерческий и тяжелый транспорт	Позволяет взаимодополняющее сочетание достоинств разных накопителей
Использование энергии ветра	Микротурбины на дорожной инфраструктуре	Энергетическая плотность в следе невелика, КПД устройств неизвестен	Придорожная инфраструктура	Под вопросом общая эффективность и экономическая целесообразность

Выявленные проблемы и тенденций позволяют обозначить перспективные направления для будущих исследований. На первом месте находится разработка адаптивных интеллектуальных систем управления энергопотоками, которые смогут в реальном времени оптимизировать работу разнородных накопителей. Параллельно необходимы интенсивные исследования в области новых материалов – высокоэффективных термоэлектриков и широкополосных пьезоэлектрических преобразователей, способных работать в переменных режимах. Крайне актуальной задачей является создание комплексных гибридных систем, одновременно утилизирующих несколько видов энергии на одной машине, например, тепловую, кинетическую и потенциальную. Особую перспективу имеет интеграция рекуперативных функций на уровне конструкции узлов машины, таких как активные тормозные диски со встроенными термоэлементами или силовые элементы с пьезопреобразователями. Хотя нетрадиционные направления, вроде улавливания энергии воздушного следа, пока имеют небольшую эффективность, они представляют фундаментальный научный интерес для систем питания автономной инфраструктуры. Перспективным направлением является также работа над стандартизацией и модульностью рекуперативных систем, что позволит снизить их стоимость и упростить внедрение на различные типы техники. Таким образом, системный подход, сочетающий глубокий анализ потерь, применение новых материалов и интеллектуальное управление, открывает путь к созданию нового поколения энергоэффективных и экологичных транспортно-технологических машин.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Посметьев, В. И. Обоснование целесообразности оснащения лесовозных автопоездов рекуперативными тягово-сцепными устройствами по результатам имитационного моделирования / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев. – Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2023. – 204 с.
2. Посметьев, В. И. Повышение эффективности лесовозных автопоездов с помощью

рекуперативных седельно-цепных и поворотных кониковых устройств : монография / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев – Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2024. – 282 с.

3. Ruchala P., Orynycz O., Stryczniewicz W., Tucki K. Possibility of Energy Recovery from Airflow around an SUV-Class Car Based on Wind Tunnel Testing. *Energies* 2023, 16, 6965. <https://doi.org/10.3390/en16196965>.

4. Feng B., Xu H., Wang A., Gao L., Bi Y., Zhang X. A Comprehensive Review of Energy Regeneration and Conversion Technologies Based on Mechanical-Electric-Hydraulic Hybrid Energy Storage Systems in Vehicles. *Appl. Sci.* 2023, 13, 4152. <https://doi.org/10.3390/app13074152>.

5. Bowen C. R., Arafa M. H. Energy harvesting technologies for tire pressure monitoring systems, *Advanced Energy Materials*, 2015, vol. 5, № 7. <https://doi.org/10.1002/aenm.201401787>.

6. Di Battista D., Di Bartolomeo M., Di Prospero F., Diomedede D., Carapellucci R., Cipollone R. Turbocompound energy recovery option on a turbocharged diesel engine. *Journal of Physics : Conference Series*. IOP Publishing 2648 (2023) 012078 doi:10.1088/1742-6596/2648/1/012078.

7. Chua K. G., Hor Y. F., Lim H. C. Raindrop Kinetic Energy Piezoelectric Harvesters and Relevant Interface Circuits : Review, Issues and Outlooks. *Sensors & Transducers*, Vol. 200, Issue 5, May 2016, pp. 1-15.

8. Yuan M., Cao Z., Luo J., Chou X. Recent Developments of Acoustic Energy Harvesting : A Review. *Micromachines* 2019, 10, 48. doi:10.3390/mi10010048.

9. Oluwalana O. J., Grzesik K. Solar-Powered Electric Vehicles : Comprehensive Review of Technology Advancements, Challenges, and Future Prospects. *Energies* 2025, 18, 3650. <https://doi.org/10.3390/en18143650>.

10. Royale A., Simic M. Research in vehicles with thermal energy recovery systems. 19th International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems. *Procedia Computer Science* 60 (2015) 1443-1452.

11. Maciejewski I., Pecolt S., Blazejewski A., Jereczek B., Krzyzynski T. Experimental Study of the Energy Regenerated by a Horizontal Seat Suspension System under Random Vibration. *Energies* 2024, 17, 4341. <https://doi.org/10.3390/en17174341>.

12. Zhu B., Zhang Y., Wang D. Investigation of Engine Exhaust Heat Recovery Systems Utilizing Thermal Battery Technology. *World Electr. Veh. J.* 2024, 15, 478. <https://doi.org/10.3390/wevj15100478>.

13. Ji P., Nie W.-W., Liu J.-L. Research on Magnetic Coupling Flywheel Energy Storage Device for Vehicles. *Appl. Sci.* 2023, 13, 6036. <https://doi.org/10.3390/app13106036>.

14. Masser R., Hoffmann K. H. Optimal Control for a Hydraulic Recuperation System Using Endoreversible Thermodynamics. *Appl. Sci.* 2021, 11, 5001. <https://doi.org/10.3390/app11115001>.

15. Jie Zhang Design of Automobile Brake Waste Heat Recovery Device. *International Conference on Applied Science and Engineering Innovation (ASEI 2015)*. – pp. 1964-1968.

16. Rausa G., Calabrese M., Velazquez R., Del-Valle-Soto C., Fazio R. D., Visconti P. Mechanical, Thermal, and Environmental Energy Harvesting Solutions in Fully Electric and Hybrid Vehicles: Innovative Approaches and Commercial Systems. *Energies* 2025, 18, 1970. <https://doi.org/10.3390/en18081970>.

17. Li J., Han Y., Li S. Flywheel-Based Boom Energy Recovery System for Hydraulic Excavators with Load Sensing System. *Actuators* 2021, 10, 126. <https://doi.org/10.3390/act10060126>.

18. Rudzki C., Bartnicki A., Rubiec A., Muszynski T., Przybysz M. Experiment Driven Co-Simulation Model of Wheel Loader Attachment Hydraulics System for Influence Assessment of Hydraulic Accumulator Parameters on Energy Recuperation Efficiency. *Energies* 2025, 18, 4208. <https://doi.org/10.3390/en18154208>.

19. Aridi R., Faraj J., Ali S., Gad El-Rab M., Lemenand T., Khaled M. Energy Recovery in Air Conditioning Systems : Comprehensive Review, Classifications, Critical Analysis, and Potential Recommendations. *Energies* 2021, 14, 5869. <https://doi.org/10.3390/en14185869>.

20. Zhou W., Du D., Cui Q., Lu C., Wang Y., He Q. Recent Research Progress in Piezoelectric Vibration Energy Harvesting Technology. *Energies* 2022, 15, 947. <https://doi.org/10.3390/en15030947>.

## REFERENCES

1. Posmetev, V. I. Justification of the Feasibility of Equipping Timber Road Trains with Regenerative

Drawbar Couplings Based on Simulation Modeling Results / V. I. Posmetev, V. O. Nikonov, V. V. Posmetev. – Voronezh : Voronezh State Forest Engineering University named after G. F. Morozov, 2023. – 204 p.

2. Posmetev, V. I. Improving the Efficiency of Timber Road Trains with the Help of Regenerative Fifth-Handle Couplings and Pivoting Cone Couplings : Monograph / V. I. Posmetev, V. O. Nikonov, V. V. Posmetev – Voronezh : Voronezh State Forest Engineering University named after G. F. Morozov, 2024. – 282 p.

3. Ruchala P., Orynych O., Stryczniewicz W., Tucki K. Possibility of Energy Recovery from Airflow around an SUV-Class Car Based on Wind Tunnel Testing. *Energies* 2023, 16, 6965. <https://doi.org/10.3390/en16196965>.

4. Feng B., Xu H., Wang A., Gao L., Bi Y., Zhang X. A Comprehensive Review of Energy Regeneration and Conversion Technologies Based on Mechanical-Electric-Hydraulic Hybrid Energy Storage Systems in Vehicles. *Appl. Sci.* 2023, 13, 4152. <https://doi.org/10.3390/app13074152>.

5. Bowen C. R., Arafa M. H. Energy harvesting technologies for tire pressure monitoring systems, *Advanced Energy Materials*, 2015, vol. 5, № 7. <https://doi.org/10.1002/aenm.201401787>.

6. Di Battista D., Di Bartolomeo M., Di Prospero F., Diomedede D., Carapellucci R., Cipollone R. Turbocompound energy recovery option on a turbocharged diesel engine. *Journal of Physics : Conference Series*. IOP Publishing 2648 (2023) 012078 doi:10.1088/1742-6596/2648/1/012078.

7. Chua K. G., Hor Y. F., Lim H. C. Raindrop Kinetic Energy Piezoelectric Harvesters and Relevant Interface Circuits : Review, Issues and Outlooks. *Sensors & Transducers*, Vol. 200, Issue 5, May 2016, pp. 1-15.

8. Yuan M., Cao Z., Luo J., Chou X. Recent Developments of Acoustic Energy Harvesting : A Review. *Micromachines* 2019, 10, 48. doi:10.3390/mi10010048.

9. Oluwalana O. J., Grzesik K. Solar-Powered Electric Vehicles : Comprehensive Review of Technology Advancements, Challenges, and Future Prospects. *Energies* 2025, 18, 3650. <https://doi.org/10.3390/en18143650>.

10. Royale A., Simic M. Research in vehicles with thermal energy recovery systems. 19th International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems. *Procedia Computer Science* 60 (2015) 1443-1452.

11. Maciejewski I., Pecolt S., Blazejewski A., Jereczek B., Krzyzynski T. Experimental Study of the Energy Regenerated by a Horizontal Seat Suspension System under Random Vibration. *Energies* 2024, 17, 4341. <https://doi.org/10.3390/en17174341>.

12. Zhu B., Zhang Y., Wang D. Investigation of Engine Exhaust Heat Recovery Systems Utilizing Thermal Battery Technology. *World Electr. Veh. J.* 2024, 15, 478. <https://doi.org/10.3390/wevj15100478>.

13. Ji P., Nie W.-W., Liu J.-L. Research on Magnetic Coupling Flywheel Energy Storage Device for Vehicles. *Appl. Sci.* 2023, 13, 6036. <https://doi.org/10.3390/app13106036>.

14. Masser R., Hoffmann K. H. Optimal Control for a Hydraulic Recuperation System Using Endoreversible Thermodynamics. *Appl. Sci.* 2021, 11, 5001. <https://doi.org/10.3390/app11115001>.

15. Jie Zhang Design of Automobile Brake Waste Heat Recovery Device. *International Conference on Applied Science and Engineering Innovation (ASEI 2015)*. – pp. 1964-1968.

16. Rausa G., Calabrese M., Velazquez R., Del-Valle-Soto C., Fazio R. D., Visconti P. Mechanical, Thermal, and Environmental Energy Harvesting Solutions in Fully Electric and Hybrid Vehicles: Innovative Approaches and Commercial Systems. *Energies* 2025, 18, 1970. <https://doi.org/10.3390/en18081970>.

17. Li J., Han Y., Li S. Flywheel-Based Boom Energy Recovery System for Hydraulic Excavators with Load Sensing System. *Actuators* 2021, 10, 126. <https://doi.org/10.3390/act10060126>.

18. Rudzki C., Bartnicki A., Rubiec A., Muszynski T., Przybysz M. Experiment Driven Co-Simulation Model of Wheel Loader Attachment Hydraulics System for Influence Assessment of Hydraulic Accumulator Parameters on Energy Recuperation Efficiency. *Energies* 2025, 18, 4208. <https://doi.org/10.3390/en18154208>.

19. Aridi R., Faraj J., Ali S., Gad El-Rab M., Lemenand T., Khaled M. Energy Recovery in Air Conditioning Systems : Comprehensive Review, Classifications, Critical Analysis, and Potential Recommendations. *Energies* 2021, 14, 5869. <https://doi.org/10.3390/en14185869>.

20. Zhou W., Du D., Cui Q., Lu C., Wang Y., He Q. Recent Research Progress in Piezoelectric Vibration Energy Harvesting Technology. *Energies* 2022, 15, 947. <https://doi.org/10.3390/en15030947>.



## СИНЕРГИЯ СИЛОВЫХ АГРЕГАТОВ И ЛЕГКИХ МАТЕРИАЛОВ КАК НОВЫЙ РУБЕЖ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

И.В. Терехина<sup>1</sup>, Ф.А. Шакина<sup>1</sup>, С.А. Швырев<sup>1</sup>, В.С. Волков<sup>1</sup>, Д.А. Жайворонок<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,  
г. Воронеж, Россия  
Автор, ответственный за переписку: Денис Александрович Жайворонок, dzhaivoronok@bk.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается комплексный подход к повышению энергоэффективности автомобильного транспорта, заключающийся в одновременной и взаимосвязанной оптимизации силового агрегата и массы транспортного средства. Доказывается, что синергетический эффект от сочетания современных двигателей, электроприводов и перспективных легких материалов является ключевым фактором для достижения новых стандартов экологичности и экономичности.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, силовой агрегат, легкие материалы, синергия, снижение массы, электромобиль, гибридный автомобиль, углепластик (CFRP), рекуперативное торможение, даунсайзинг.

## SYNERGY OF POWER UNITS AND LIGHTWEIGHT MATERIALS AS A NEW FRONTIER OF ENERGY EFFICIENCY OF A MOTOR VEHICLE

I.V. Terekhina<sup>1</sup>, F.A. Shakina<sup>1</sup>, S.A. Shvyrev<sup>1</sup>, V.S. Volkov<sup>1</sup>, D.A. Zhayvoronok<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,  
Voronezh, Russia  
The author responsible for the correspondence: Denis Alexandrovich Zhayvoronok,  
dzhaivoro-nok@bk.ru

**Annotation.** The article considers an integrated approach to increasing the energy efficiency of motor transport, which consists in simultaneous and interrelated optimization of the power unit and vehicle weight. It is proved that the synergistic effect of the combination of modern engines, electric drives and promising lightweight materials is a key factor in achieving new standards of environmental friendliness and efficiency.

**Keywords:** energy efficiency, powertrain, lightweight materials, synergy, weight reduction, electric vehicle, hybrid car, carbon fiber (CFRP), regenerative braking, downsizing.

Глобальные вызовы, связанные с изменением климата, истощением ископаемых ресурсов и ужесточением экологического законодательства, заставляют мировую автомобильную индустрию искать принципиально новые пути развития. Традиционный подход, направленный исключительно на совершенствование двигателя внутреннего сгорания (ДВС), близок к своему технологическому пределу. В этой связи на первый план выходит комплексная оптимизация автотранспортного средства (АТС) как единой системы.

Наиболее перспективным направлением является достижение синергии – эффекта, при котором результат совместного действия двух факторов превышает сумму результатов каждого фактора в отдельности. В контексте автомобилестроения такими факторами выступают силовой агрегат (СА) (источник и преобразователь энергии) и материальная база (кузов, шасси, компоненты). Снижение массы автомобиля на 10%

приводит к экономии топлива от 6% до 8%. Однако, когда облегчение конструкции сочетается с высокоэффективным, адаптивным силовым агрегатом, экономический и экологический эффект многократно усиливается

Эволюция СА прошла путь от мотора к интеллектуальной энергоустановке. Современный СА перестал быть просто «двигателем», это сложная система, главной задачей которой является не только генерация крутящего момента, но и оптимальное управление энергией. Условно развитие технологий энергосбережения реализовалось в трех вариантах двигателя автомобиля: высокоэффективные ДВС; электромобили; гибридные силовые установки. Рассмотрим их более подробно.

Несмотря на рост популярности электромобилей, ДВС продолжает играть ключевую роль, и его развитие не прекращается. Основные направления:

- Даунсайзинг и турбонаддув. Уменьшение рабочего объема в сочетании с турбиной позволяет сохранить высокую удельную мощность при значительном снижении расхода топлива и выбросов в режимах частичных нагрузок.

- Технология переменного рабочего объема (Cylinder Deactivation). Отключение части цилиндров при движении с постоянной скоростью или на спусках существенно сокращает «насосные» потери.

- Системы рекуперации кинетической энергии (RKE). Хотя они ассоциируются с гибридами, начинают появляться системы для обычных ДВС, которые накапливают энергию торможения в маховике или специальном аккумуляторе, используя ее для разгона или питания бортовой сети.

Электромобиль (EV) изначально обладает высоким коэффициентом полезного действия (КПД до 90% против 30-40% у ДВС). Однако и в этой технологии существуют возможности для оптимизации:

- Повышение КПД электродвигателей. Использование постоянных магнитов, оптимизация магнитных цепей, системы жидкостного охлаждения позволяют создавать компактные и мощные двигатели с минимальными потерями.

- Рекуперативное торможение. Это «визитная карточка» EV, превращающая кинетическую энергию в электрическую и возвращающая ее в батарею. Эффективность рекуперации напрямую влияет на запас хода.

- Поддержание оптимального температурного диапазона работы высоковольтной батареи (HV Battery) – тепловой менеджмент. Интеллектуальные системы подогрева и охлаждения батареи не только продлевают ее срок службы, но и экономят энергию, поддерживая оптимальный для работы температурный режим.

Гибриды (HEV, PHEV) являются наглядной демонстрацией синергии на уровне агрегатов. Они объединяют ДВС и электромотор, позволяя каждому работать в наиболее эффективном режиме. Алгоритмы управления постоянно эволюционируют, предвосхищая дорожную ситуацию для минимизации энергозатрат.

Снижение массы – это не только использование алюминия вместо стали. Это стратегический подход к конструированию, предполагающий применение целого спектра материалов в оптимальных местах конструкции.

1 Алюминий на 50-60% легче стали при сопоставимой прочности. Его применение в кузове (Audi A8, Jaguar XE), подвеске и двигателе позволяет значительно снизить общую массу. Современные методы литья и соединения (лазерная сварка, клепка) сделали алюминиевые конструкции надежными и безопасными.

2 Углепластик (CFRP – Carbon Fiber Reinforced Polymer), это материал «премиум-класса» в автоспорте и суперкарах, постепенно проникающий в массовый сегмент АТС. Углепластик обладает уникальным соотношением прочности и жесткости к массе. Его главные недостатки – высокая стоимость и длительный цикл производства – активно преодолеваются (например, использованием технологий быстрого отверждения).

3 Высокопрочные и ультравысокопрочные стали (HSS, UHSS). Благодаря своей особой прочности, детали из UHSS можно делать тоньше и легче, сохраняя при этом

высокие показатели пассивной безопасности. Кузов современного АТС представляет собой сложную конструкцию из сталей разной прочности, алюминия и пластика.

4 Магниевые сплавы, полимеры и композиты. Магний – самый легкий из конструкционных металлов. Его используют для кронштейнов, кронштейнов, каркасов сидений. Инженерные пластики, армированные стекловолокном, находят применение в изготовлении неподдерживающих (НП) элементов кузова (бамперы, панели крыльев), подвесных педалей и даже колесных дисков.

Само по себе снижение массы или повышение КПД двигателя дает линейный положительный эффект. Но их сочетание порождает нелинейный, синергетический выигрыш. Например, облегчение конструкции АТС на 100 кг позволяет не только экономить топливо или энергию. Это приводит к каскадному эффекту (эффект «factor of ten»). Как следствие, можно установить менее мощный и, следовательно, более легкий и экономичный двигатель/электромотор для достижения тех же динамических характеристик. Это, в свою очередь, позволяет уменьшить размер и массу тормозной системы, элементов подвески и даже кузовных силовых элементов, рассчитанных на меньшие нагрузки.

В случае с электромобилем меньшая масса напрямую увеличивает запас хода при том же размере батареи, либо позволяет установить батарею меньшей емкости (самый тяжелый и дорогой компонент EV) для достижения целевого запаса хода, что еще больше снижает массу и стоимость.

Рассмотрим основные достоинства применения синергии на примере электромобиля, кузов которого выполнен преимущественно из углепластика:

- Снижение массы. Кузов легче стального на 30-50%.
- Увеличение запаса хода. Для перемещения меньшей массы требуется меньше энергии. Запас хода увеличивается на 10-15%.
- Оптимизация силовой установки. Инженеры могут выбрать электромотор меньшей мощности, что снижает энергопотребление и стоимость.
- Улучшение динамики. Соотношение мощности к массе улучшается, что дает лучшую разгонную динамику и управляемость.
- Снижение нагрузки на шасси и тормоза. Компоненты подвески и тормозной системы могут быть облегчены и оптимизированы.

В этом примере экономия энергии складывается не из двух слагаемых («экономия от облегчения» и «экономия от КПД электромотора»), а умножается за счет цепной реакции оптимизации всей системы.

Несмотря на очевидные преимущества, массовое применение синергетического подхода сопряжено с рядом препятствий:

- Стоимость. Высокотехнологичные материалы (CFRP, алюминиевые сплавы) и сложные СА (гибриды, мощные электромоторы) значительно удорожают автомобиль.
- Технологии соединения разнородных материалов. Надежное скрепление стали, алюминия и композитов требует дорогостоящих и сложных процессов (клепка, адгезивное склеивание, лазерная сварка).
- Ремонтопригодность и утилизация. Ремонт углепластиковых деталей требует специального оборудования и навыков. Утилизация композитных материалов также представляет собой сложную задачу.

Тем не менее, потенциал для дальнейшего развития весьма значителен:

- Развитие «умных» материалов. Самовосстанавливающиеся полимеры, материалы с изменяемой жесткостью.
- Аддитивные технологии (3D-печать) позволят создавать оптимизированные по весу и прочности детали сложной геометрии, недоступные для традиционных методов производства.
- Бионический дизайн. Использование принципов строения природных объектов (костей, растений) для создания сверхлегких и прочных структурных элементов.

В таблице 1 систематизированы ключевые аспекты синергии силовых агрегатов и облегченных композитных материалов, сплавов.

Таблица 1 – Синергетический эффект от сочетания СА и легких материалов

Table 1 – Synergistic effect of the combination of CA and light materials

Компонент / Аспект	Технологии / Материалы	Синергетический эффект	Результирующий эффект
<b>СИЛОВОЙ АГРЕГАТ</b>			
<b>Двигатель внутреннего сгорания (ДВС)</b>	Даунсайзинг + турбонаддув, переменный рабочий объем (Cylinder Deactivation)	Снижение массы АТС позволяет использовать менее мощный и экономичный ДВС без потери динамики. Уменьшенная нагрузка повышает эффективность работы ДВС в оптимальных режимах	Снижение расхода топлива и выбросов CO <sub>2</sub> на 10–15%
<b>Электромобиль (EV)</b>	Высокоэффективный электромотор, рекуперативное торможение, оптимизированный тепловой менеджмент батареи	Снижение массы напрямую увеличивает запас хода. Меньшая инерция повышает эффективность рекуперации. Возможность использования батареи меньшей емкости (и массы) для достижения того же запаса хода	Увеличение запаса хода на 8–12%; снижение стоимости и веса батареи
<b>Гибрид (HEV/PHEV)</b>	Комбинированная работа ДВС и электромотора, интеллектуальное управление энергией	Облегченная конструкция позволяет более эффективно использовать электромотор для разгона, реже нагружая ДВС. Увеличивается запас хода в электрическом режиме	Максимальная энергоэффективность, снижение расхода топлива в городском цикле до 20–25%
<b>ОБЛЕГЧЕННЫЕ КОМПОЗИТЫ / СПЛАВЫ</b>			
<b>Конструкционные</b>	Алюминиевые сплавы, Углепластик (CFRP), Магниевые сплавы, Высокопрочные стали (UHSS)	Позволяют снизить массу кузова и шасси на 20–50%. Запускают каскадный эффект: позволяют облегчить смежные системы (подвеска, тормоза)	Повышение энергоэффективности, улучшение динамики и управляемости
<b>Вторичные компоненты</b>	Инженерные пластики, армированные стекловолокном	Уменьшение массы НП и вращающихся частей (колесных дисков и т.д.) снижает инерцию и энергозатраты на разгон и торможение	Дополнительная экономия энергии (2–4%), снижение шума и вибраций
<b>ИНТЕГРАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ</b>			
<b>Динамика</b>	Сочетание облегченной конструкции и силового агрегата	Улучшение соотношения мощности к массе	Лучшая разгонная динамика и быстрый отклик
<b>Экология</b>	Снижение расхода топлива / энергии на протяжении всего периода эксплуатации	Меньший расход энергии напрямую ведет к снижению вредных выбросов Для EV – снижение углеродного следа от производства электроэнергии	Соответствие экологическим стандартам (Евро-7, CAFE).
<b>Недостатки</b>	Высокая стоимость материалов (CFRP), сложность ремонта, утилизация	Необходимость инвестиций в новые производственные и ремонтные технологии	Высокая начальная стоимость, но снижение совокупной стоимости владения

Синергия силовых агрегатов и легких материалов – это не просто одно из направлений развития автомобилестроения, а его магистральный путь. Изолированное совершенствование двигателя или кузова уже не может дать прорывного роста энергоэффективности. Только комплексный, системный подход, при котором облегчение конструкции и интеллектуализация энергопотребления дополняют друг друга, позволит создавать экологичные, экономичные, безопасные и динамичные автомобили будущего. Преодоление технологических и экономических барьеров на этом пути станет ключевой задачей для инженеров и ученых в ближайшие десятилетия.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Акимов, В. В. Перспективные направления повышения энергоэффективности транспортных средств / В. В. Акимов, И. П. Иванов // Автомобильная промышленность. – 2022. – № 5. – С. 12–15.
2. Белов, М. Л. Применение легких материалов в автомобилестроении: обзор современных технологий / М. Л. Белов, А. С. Петров // Вестник машиностроения. – 2023. – № 10. – С. 25–29.
3. Васильев, А. Н. Оптимизация силовых агрегатов для повышения топливной экономичности / А. Н. Васильев // Двигателестроение. – 2021. – № 3. – С. 30–34.
4. Иванов, Д. С. Синергетический эффект применения легких материалов и оптимизированных силовых установок в автомобилестроении / Д. С. Иванов, П. Р. Сидоров // Транспортные системы и технологии. – 2024. – № 1. – С. 45–50.
5. Козлов, С. А. Анализ влияния массы автомобиля на расход топлива / С. А. Козлов // Автотранспортное предприятие. – 2022. – № 8. – С. 35–39.
6. Петров, И. И. Перспективы использования композиционных материалов в конструкции кузова автомобиля / И. И. Петров // Композитные материалы. – 2023. – № 2. – С. 18–22.
7. Сидоров, А. В. Современные тенденции развития силовых агрегатов для легковых автомобилей / А. В. Сидоров // Автомобильный транспорт. – 2021. – № 6. – С. 20–24.

#### REFERENCES

1. Akimov, V. V. Promising directions for improving the energy efficiency of vehicles / V. V. Akimov, I. P. Ivanov // Automotive industry. – 2022. – No. 5. – pp. 12-15.
2. Belov, M. L. The use of light materials in the automotive industry: a review of modern technologies / M. L. Belov, A. S. Petrov // Bulletin of Mechanical Engineering. - 2023. – No. 10. – pp. 25-29.
3. Vasiliev, A. N. Optimization of power units to increase fuel efficiency / A. N. Vasiliev // Engine engineering. - 2021. – No. 3. – pp. 30-34.
4. Ivanov, D. S. The synergetic effect of the use of lightweight materials and optimized power plants in the automotive industry / D. S. Ivanov, P. R. Sidorov // Transport systems and Technologies. - 2024. – No. 1. – pp. 45-50.
5. Kozlov, S. A. Analysis of the influence of car weight on fuel consumption / S. A. Kozlov // Motor transport enterprise. – 2022. – No. 8. – pp. 35-39.
6. Petrov, I. I. Prospects for the use of composite materials in the design of the car body / I. I. Petrov // Composite materials. - 2023. – No. 2. – pp. 18-22.
7. Sidorov, A.V. Modern trends in the development of power units for passenger cars / A.V. Sidorov // Automobile transport. – 2021. – No. 6. – pp. 20-24.

## Секция 6 Альтернативные источники энергии на транспорте

УДК 536.8

DOI: 10.58168/MSTT2025\_209-214

### ВВОД НАСЫЩЕННОГО ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА В ТОПЛИВО-ВОЗДУШНУЮ СМЕСЬ ДВС КАК СПОСОБ СНИЖЕНИЯ ТОКСИЧНОСТИ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ

А. С. Толстова<sup>1</sup>, С. А. Толстов<sup>2</sup>, С. Л. Панченко<sup>3</sup>, С. В. Внукова<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,  
г. Воронеж, Россия

<sup>1</sup>alexkonnik2016@gmail.com

<sup>2</sup>serezha.tolstoff@yandex.ru

<sup>3</sup>psl84@mail.ru

<sup>4</sup>vnukovasv@vglta.vrn.ru

**Аннотация.** При работе ДВС в окружающую среду выбрасываются токсичные газы, загрязняя атмосферу и негативно воздействуя на организм человека. Таким образом, вопрос снижения токсичности выхлопных газов от ДВС является актуальной задачей. В работе предложен вариант снижения токсичности путем добавления насыщенного влажного воздуха в топливовоздушную смесь.

**Ключевые слова:** двигатель (ДВС), автомобильный транспорт, топливо, экологические стандарты, впрыск воды, токсичные газы, экология.

### INTRODUCING SATURATED HUMID AIR INTO THE FUEL-AIR MIXTURE OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE TO REDUCE THE TOXICITY OF EXHAUST GASES

A. S. Tolstova<sup>1</sup>, S. A. Tolstov<sup>2</sup>, S. L. Panchenko<sup>3</sup>, S. V. Vnukova<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,  
Voronezh, Russia

<sup>1</sup>alexkonnik2016@gmail.com

<sup>2</sup>serezha.tolstoff@yandex.ru

<sup>3</sup>psl84@mail.ru

<sup>4</sup>vnukovasv@vglta.vrn.ru

**Abstract.** When an internal combustion engine operates, toxic gases are emitted into the environment, polluting the atmosphere and negatively impacting the human body. Therefore, reducing the toxicity of internal combustion engine exhaust gases is a pressing issue. This paper proposes a method for reducing toxicity by adding saturated, moist air to the fuel-air mixture.

**Keywords:** heat engine (ICE), automobile transport, fuel, environmental standards, water injection, toxic gases, ecology.

Проблема загрязнения окружающего воздуха токсичными газами не является чем-то новым, но актуальным направлением исследования. На протяжении многих десятилетий индустриализация городов и рост населения в них привели к выбросу огромного количества вредных веществ в атмосферу.

Как известно, основными источниками загрязнения являются заводы, тепловые электростанции, транспорт с тепловыми двигателями. Коснемся более подробно загрязнения окружающего воздуха от двигателей внутреннего сгорания. По информации из разных источников [1, 2], на вредные выбросы от таких двигателей приходится до 50% от всех источников загрязнения. Именно из-за их огромного количества, которое непрерывно растет, и повсеместного использования обострилась экологическая обстановка в мире. Прогноз Всемирного банка показывает, что к 2050 году численность мирового автопарка достигнет 2000 миллионов [3].

В качестве топлива тепловых двигателей выступают различные бензины и дизельные топлива. При реакции окисления кислородом воздуха в атмосферу выбрасываются различные соединения, в том числе и токсичные: оксид углерода ( $\text{CO}$ ), оксиды азота ( $\text{NO}_x$ ), различные углеводороды ( $\text{C}_n\text{H}_m$ ) (рисунок 1). Таким образом, тепловые двигатели, работающие на углеводородном топливе, являются одними из основных источников вредных выбросов в окружающую среду [4]. Эти выбросы оказывают разрушительное воздействие на здоровье человека и состояние окружающей среды, поэтому загрязнение воздуха является экологической проблемой, касающейся каждого.

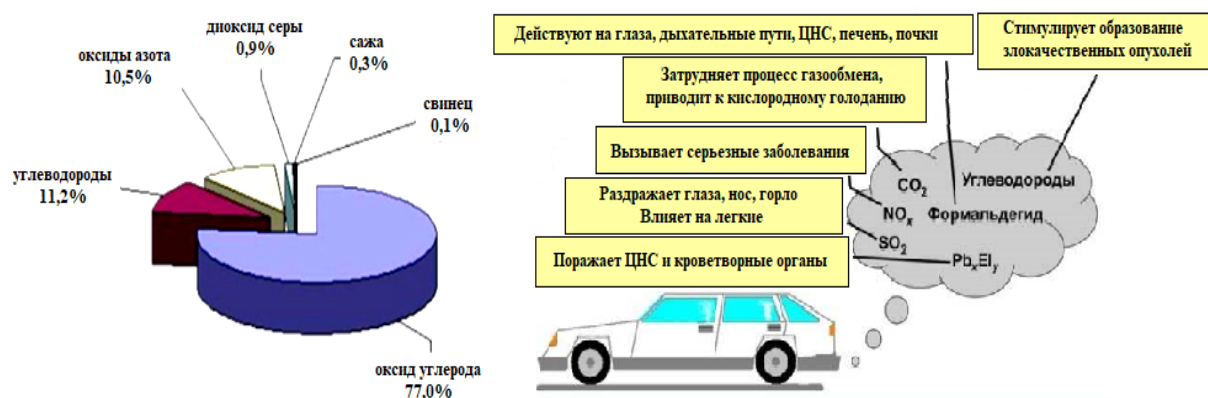


Рисунок 1 – Выбросы токсичных газов и твердых частиц от ДВС в атмосферу и воздействие выхлопных газов на организм человека

Figure 1 – Emissions of toxic gases and particulate matter from internal combustion engines into the atmosphere and the effects of exhaust fumes on the human body

Серьезная экологическая обстановка в мире заставляет искать решения по снижению токсичности выхлопных газов в атмосферу. Наглядным доказательством служат переходы на экологические стандарты, определяющие допустимый уровень вредных выбросов в выхлопных газах автомобилей. Экологический стандарт Евро-1 был введен в 1992 году и поспособствовал сокращению количества вредоносных выбросов. Через три года для усиленного контроля за безопасной работой транспортных средств с дизельным двигателем был учрежден Евро-2. В 2000 году был принят Евро-3, в результате чего до 40% снизился показатель допустимых вредных веществ. Евро-4 – установлен в 2005 году и требовал получения сертификата, подтверждающего, что двигатель ТС соответствует новым нормативам. Это еще позволило сократить объем вредных выбросов. Евро-5 введен в 2008 году. Стандарт Евро-6 появился на рынках Европы в 2015 году, что еще больше усилило требования для автомобилей, особенно на дизельном топливе [5].

В связи с серьезной обеспокоенностью в мире состоянием окружающей среды повышенные требования к двигателям становились все строже, поэтому, сменяли друг

друга и экологические топливные стандарты. Их появление повлияло как на автомобилестроение, так и на производство топлива. Были введены стандарты Евро для автомобилей с основными характеристиками топливных классов. Введение Евро-5 на топливо в РФ стало одним из ключевых событий в программе по улучшению экологической ситуации в стране. Стандарт был принят в РФ в 2013 году с целью установления более жестких требований к качеству топлива, снижения содержания серы и прочих вредных веществ.

Самый первый стандарт Евро-1 появился ещё в 1992 году — именно он фактически запустил процесс массового перехода от карбюраторов к системам впрыска топлива. С некоторой периодичностью эти требования менялись в сторону ужесточения, а выпуск на рынок неэкологичных автомобилей запрещался. Усложнялись системы впрыска, появились нейтрализаторы выхлопных газов и сложные системы рециркуляции. Сейчас в Европе действуют крайне жесткие требования Евро-6. В качестве примера можно сказать, что в России нельзя продавать на внутреннем рынке машины ниже класса Евро-5, с 2017 года в ПДД существуют знаки экологических классов (дорожные знаки 5.35-5.38 Приложения 1 ПДД) (рисунок 2) [6]. Ограничения уже действуют в Москве для грузовиков: с 2018 года большегрузам класса Евро-3 нельзя въезжать в пределы ТТК, а класса Евро-2 — в пределы МКАД.

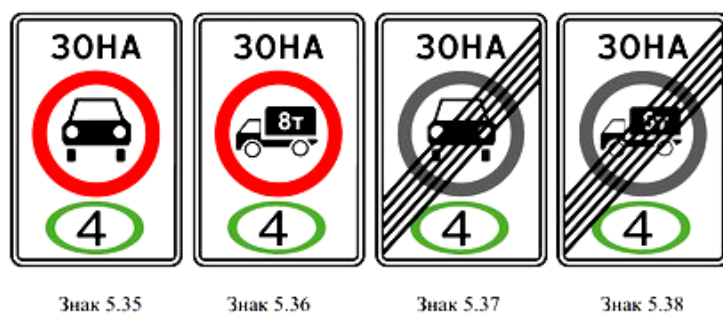


Рисунок 2 – Дорожные знаки, обозначающие зоны с ограничением экологических классов ТС

Figure 2 – Road signs indicating areas with restrictions on vehicle environmental classes

В качестве другого доказательства работы страны по улучшению экологической обстановки – перевод автотранспорта на альтернативные виды топлива (в первую очередь на газ) и электропривод. О серьезности вопроса говорит и то, что для решения этой задачи приняты Государственные программы перевода автотранспорта на газ и привилегии при приобретении машин на электроприводе. Однако быстро перевести мировой парк транспортных средств на другой вид энергии невозможно, в связи с его огромным количеством. Поэтому во всем мире ведутся работы по снижению вредных выбросов в атмосферу путем усовершенствования и модернизации существующих тепловых двигателей.

В качестве примера доказательства работы ученых мы видим повышение качества топлива путем использования современных технологий; использование присадок; фильтров; утилизация или нейтрализация вредных выбросов путем применения катализаторов. Внедрение рассмотренных методов с одной стороны позволяет снизить выбросы вредных газов в атмосферу. Реальная же картина состояния вопроса из-за все возрастающего количества автотранспорта говорит о чрезвычайной необходимости принятия дополнительных мер. И главное – эти меры необходимо применить к действующему автопарку с ДВС, особенно с низким показателем по нормам Евро. В качестве такой меры можно предложить доукомплектование существующих двигателей



системой водяного впрыска в топливно-воздушную смесь. Данный способ известен давно, но в основном он применялся с целью снижения детонации и форсирования двигателей. Однако до конвейерного производства данная технология не дошла.

Исследователи и энтузиасты, занимавшиеся в этой области, утверждают, что впрыск воды в ДВС нейтрализует до 60% вредных выбросов в атмосферу, снижает до 25% расход топлива для бензиновых и дизельных двигателей и повышает до 15% мощность двигателей.

Приведенные результаты требуют глубокого аналитического исследования, что представляет собой сложную задачу по совместному решению ряда нестационарных уравнений. Это касается определения основных энергетических характеристик двигателя: работы, КПД, мощности. Так, например, термический КПД, определяемый по уравнению:

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{l_u}{q_1}, \quad (1)$$

где  $q_1$ ,  $q_2$  – подведенная и отведенная теплота соответственно, Дж/кг;  $l_u$  – работа цикла, Дж/кг, зависит от количества подводимой и отводимой в цикле теплоты. В свою очередь количество подводимой в цикле теплоты зависит от теплоемкости вводимой в камеру сгорания смеси и температур начала (температура вводимой смеси) и конца (температура продуктов сгорания) процесса сгорания топлива:

$$q_1 = c_{vсм}(T_3 - T_2), \quad (2)$$

где  $c_{vсм}$  – удельная теплоемкость смеси, Дж/(кг·К);  $T_2$ ,  $T_3$  – температура смеси и продуктов сгорания соответственно, К.

Понятно, что с добавлением воды данные величины будут меняться. С одной стороны, количество подводимой теплоты должно уменьшаться, т.к. часть ее израсходуется на испарение воды и приведет к уменьшению температуры  $T_3$ . С другой стороны, добавление воды увеличит плотность смеси, а значит массы свежего заряда, что поспособствует увеличению степени сжатия и среднего давления, определяемого в соответствии с выражением:

$$p_t = p_0 \frac{\varepsilon^k \eta_t}{(k-1)(\varepsilon-1)} (\lambda - 1), \quad (3)$$

где  $p_0$  – давление в начале процесса сгорания, Па;  $\varepsilon$  – степень сжатия;  $k$  – показатель адиабаты;  $\lambda$  – степень повышения давления.

Данный эффект повышает КПД. Кроме того, хотя количество воды, подаваемой в виде пара в смесь невелико, водород и кислород, образовавшиеся при разложении воды повысят количество подводимой теплоты. Водород обладает наивысшей теплотой сгорания из всех применяемых углеводородных топлив (теплота сгорания водорода в воздухе 120...140 МДж/кг, в то время как у бензина 42...44 МДж/кг), а кислород, как чистый окислитель, поспособствует более полному сгоранию топлива.

В работах, посвященных водяному впрыску ранее, уже приводились экспериментальные данные, подтверждающие положительный эффект. В настоящее время вернулись к этой теме. Серьезно занялись такой работой в Томском политехническом университете, ученые которого совместно с коллегами из Федерального исследовательского центра проблем химической физики и медицинской химии (ФИЦ ПХФ и МХ) РАН провели эксперименты и с высокой точностью предсказали кинетические характеристики воспламенения и сгорания топлива с

добавлением воды. Результаты показали, что топливо с небольшой добавкой воды сгорает быстрее по сравнению с однородным углеводородным топливом. В ходе экспериментов ученые установили, что добавление воды к жидкому углеводородному топливу не только ускоряет процесс его сгорания, но и способствует снижению эмиссии оксидов серы и азота в атмосферу. Т.е. вода может выступать в роли триггера быстрого и интенсивного сгорания углеводородного топлива. Помимо этого, работы по водяному впрыску ведут ученые МАИ, ЮУрГАУ, а также вопросом использования воды в ДВС занимаются в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. Таким образом, это еще раз подтверждает, что исследования данного направления по модернизации ДВС с целью снижения токсичности выхлопных газов являются актуальными. А в связи с ухудшением экологической обстановки эти исследования должны быть более детальными. С этой целью разработана экспериментальная установка на базе четырехтактного бензинового двигателя (рисунок 3) [7].



Рисунок 3 – Экспериментальная установка для исследования эффективности работы поршневого двигателя при использовании смеси топлива и водяного пара  
Figure 3 – Experimental setup for studying the efficiency of a piston engine using a mixture of fuel and water vapor

Отличие разработанной установки от известных предложений подачи воды в топливо-воздушную смесь заключается в том, что в нашем случае подача воды производится в виде насыщенного влажного воздуха (тумана). Для его получения используется ультразвуковой излучатель, помещенный в емкость с дистиллированной водой. В этом случае происходит получение мельчайших частиц воды и ее лучшее смешивание с топливо-воздушной смесью. Это в конечном итоге приводит к более полному сгоранию топлива и снижению количества токсичных газов в выхлопе.

Во всех без исключения экспериментах зафиксировано снижение уровня токсичных газов: окиси углерода (CO) порядка 5%, двуокиси углерода (CO<sub>2</sub>) порядка 5%, углеводородов (CH) порядка 10%. Полученные результаты вселяют уверенность в правильном выборе варианта решения задачи и необходимости дальнейшего более глубокого экспериментального исследования и математического описания процессов и результатов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кульчинский, А. Р. Токсичность автомобильных и тракторных двигателей / А. Р. Кульчинский. – Владимир : Издательство Владимирского государственного университета, 2000. – 253 с. – ISBN 5-89368-156-8.
2. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды. – URL: <https://www.meteorf.gov.ru/product/infomaterials/90/> (дата обращения 18.10.2025)
3. Ждать ли нам автоапокалипсис? – URL: <https://www.autostat.ru/articles/32922/> (дата обращения: 18.10.2025)
4. Вред выхлопных газов: влияние на здоровье человека. – URL: <https://бризекс.рф/blog/vred-vyhlopnih-gazov-vliyanie-na-zdorove-cheloveka> (дата обращения: 18.10.2025)
5. Экологические стандарты Евро. – URL: <https://www.autoopt.ru/articles/products/3458895> (дата обращения: 19.10.2025)
6. Правила дорожного движения РФ. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_2709/abf54a3a53893a59aab95ff7cfb06d2ce2b47435](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_2709/abf54a3a53893a59aab95ff7cfb06d2ce2b47435) (дата обращения: 18.10.2025)
7. Разработка схемы экспериментальной установки ДВС с модернизированной системой подачи топливо-водо-воздушной смеси с целью снижения вредных выбросов в выхлопных газах / С. А. Толстов, С. Л. Панченко, А. С. Толстова [и др.] // Физические основы наукоемких технологий в современном мире : Материалы Всероссийской научно-методической конференции с международным участием, посвящённой 80-летию со дня рождения профессора В. В. Постникова, приуроченной к 95-летию ВГЛУ им. Г.Ф. Морозова, Воронеж, 15 апреля 2025 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2025. – С. 136-141.

## REFERENCES

1. Kulchinsky, A. R. Exhaust emission of automotiv and tractor engines / A. R. Kulchinsky. – Vladimir : Vladimir State University Press, 2000. – 253 p. – ISBN 5-89368-156-8.
2. Environment condition and pollution view. – URL: <https://www.meteorf.gov.ru/product/infomaterials/90/> (accessed: 18.10.2025).
3. Should we expect an auto-apocalypse? – URL: <https://www.autostat.ru/articles/32922/> (accessed: 18.10.2025)
4. The Harmful Effects of Exhaust Gases on Human Health. – URL: <https://бризекс.рф/blog/vred-vyhlopnih-gazov-vliyanie-na-zdorove-cheloveka> (accessed: 18.10.2025)
5. Ecological EURO Standarts– URL: <https://www.autoopt.ru/articles/products/3458895> (accessed: 19.10.2025)
6. Russian Federation traffic rules. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_2709/abf54a3a53893a59aab95ff7cfb06d2ce2b47435](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_2709/abf54a3a53893a59aab95ff7cfb06d2ce2b47435) (accessed: 18.10.2025)
7. Development of a scheme for an experimental installation of an internal combustion engine with a modernized fuel-water-air mixture supply system in order to reduce harmful emissions in exhaust gases / S. A. Tolstov, S. L. Panchenko, A. S. Tolstova [et al.] // Physical basis of science-intensive technologies in the modern world: Proceedings of the All-Russian Scientific and Methodological Conference with International Participation, dedicated to the 80th anniversary of the birth of Professor V. V. Postnikov, timed to the 95th anniversary of VSUFT named after G.F. Morozov, Voronezh, April 15, 2025. – Voronezh : Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov., 2025. – P. 136-141.

## ОЦЕНКА РАЗВИТИЯ СЕТИ ЭЛЕКТРОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ В РОССИИ

А. Б. Гасанов <sup>1</sup>, Ф. В. Котелевский <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Каменский технологический институт (филиал) Южно-Российского государственного  
политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова  
г. Каменск-Шахтинский, Россия

<sup>1</sup> gab2002@mail.ru

<sup>2</sup> fedorkotelevsky@yandex.ru

**Аннотация.** В статье исследуются способы решения проблемы, связанной с нехваткой электрозаправочных станций для электромобилей и наиболее эффективное использование альтернативных источников энергии для заправки электромобилей.

**Ключевые слова:** электрозаправочные станции, электромобили, электромобилизация, экосистема, быстрая зарядка, мощность зарядки.

## ASSESSMENT OF THE DEVELOPMENT OF THE NETWORK OF ELECTRIC FILLING STATIONS IN RUSSIA

A.B. Gasanov <sup>1</sup>, F. V. Kotelevsky <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Kamensk Technological Institute (branch) South Russian State Polytechnic University  
(NPI) named after M.I. Platov, Kamensk-Shakhtinsky, Russia

<sup>1</sup> gab2002@mail.ru

<sup>2</sup> fedorkotelevsky@yandex.ru

**Abstract.** The article explores ways to solve the problem of the shortage of electric filling stations for electric vehicles and the most efficient use of alternative energy sources for refueling electric vehicles.

**Keywords:** electric filling stations, electric vehicles, electric immobilization, ecosystem, fast charging, charging capacity.

Уровень электромобилизации в мире стремительно растет, но его можно охарактеризовать как «очаговый». Группа стран-лидеров демонстрирует феноменальные успехи и доказывает техническую и экономическую возможность перехода. Однако для глобального распространения необходимо решить ключевые проблемы: снижение стоимости электромобилей, опережающее развитие универсальной и надежной зарядной инфраструктуры и адаптация энергетических систем — в первую очередь в странах со средним и начальным уровнем.

По данным Международного энергетического агентства (МЭА), в 2024 году в мире было продано более 17 миллионов электромобилей, что составляет 20% от общего числа проданных автомобилей, а за первые восемь месяцев 2025 года общие продажи электромобилей достигли 12,5 миллиона штук. По прогнозам IEA, в 2025 году мировые продажи электромобилей превысят 20 млн единиц, что составит четверть от общего объема продаж автомобилей [1].

Мировые лидеры динамики продаж электромобилей (2025г.):

1. Китай ~55–60 % (11–12 млн ед.)
2. Европа (ЕС + ЕЭЗ) ~25–28 % (5–5,6 млн ед.)

3. США ~8–10 % (1,6–2 млн ед.)
4. Норвегия ~1,5–2 % (0,3–0,4 млн ед.)
5. Швеция, Дания, Нидерланды ~2–3 % (0,4–0,6 млн ед.)
6. Россия ~0,1–0,2 % (20–40 тыс. ед.)
7. Прочие регионы (Азия, Латинская Америка, Ближний Восток) ~3–5 %.

По данным аналитического агентства «АВТОСТАТ», на 1 июля 2025 года в России было зарегистрировано 138,5 тыс. электромобилей и гибридов (табл. 1.) 1[1-3].

Таблица 1 – Данные по электромобилям, зарегистрированным в России  
Table 1 – Data on electric vehicles registered in Russia

Место	Бренд	Страна	Доля на рынке новых EV	Ключевые модели
1	Lixiang	Китай	23,7%	L6, L7, L9
2	Nissan	Япония	12,6%	Nissan Leaf, Ariya
3	Voyah	Китай	11,5%	Free, Dream
4	Zeekr	Китай	9,1%	001, X
5	Tesla	США	5,1%	Model 3, Model Y
6	BYD	Китай	4,8%	Atto 3, Seal
7	Aito	Китай	4,5%	M5, M7
8	HiPhi	Китай	3,9%	X, Z
9	Evolute	Россия	3,2%	i-PRO, i-JOY
10	Omoda	Китай	3,0%	E5
N/A	Прочие	Разные	~15,3%	Li Auto, Volkswagen ID.4, Skywell и др.

Развитие сети электрозаправочных станций — это фундамент для всей экосистемы электротранспорта. Без него все остальные усилия (субсидии на покупку EV, развитие производства батарей, экологические инициативы) будут неэффективны.

Электрозаправочные станции (ЭЗС), или зарядные станции, бывают разных типов [1-7]. Их можно классифицировать по нескольким ключевым параметрам:

1. По скорости и мощности зарядки (табл. 2)

Таблица 2 – Данные по зарядным станциям по скорости и мощности зарядки  
Table 2 – Data on charging stations by charging speed and power

Тип зарядки	Мощность	Напряжение / Ток	Время зарядки (примерно)	Применение и особенности
Медленная (AC - Alternating Current)	~3.7 кВт	230В / 16А	8-12 часов (с 0 до 100%)	Домашняя зарядка. »Блок питания» автомобиля. Идеально для ночной зарядки дома или на работе.
Ускоренная (AC)	~7.4 кВт - 22 кВт	400В / 16А-32А	3-6 часов (с 0 до 80%)	Публичные станции у торговых центров, офисов, парковок. Требуется более мощная сеть.

Тип зарядки	Мощность	Напряжение / Ток	Время зарядки (примерно)	Применение и особенности
Быстрая (DC - Direct Current)	~50 кВт	Постоянный ток	~30-40 минут (до 80%)	Магистральные ЭЗС, городские хабы. Самый распространенный тип быстрой зарядки.
Сверхбыстрая (DC)	~150-350 кВт	Постоянный ток	~15-25 минут (до 80%)	Станции вдоль скоростных трасс. Позволяют быстро зарядиться

## 2. По месту установки и доступности

- публичные (Public Chargers) (расположены на АЗС, в торговых центрах, на парковках у офисов, на улицах, обычно это ускоренные (AC) и быстрые (DC) станции, доступны для всех владельцев EV, часто с платным доступом (карты, приложения);
- полу-публичные (Semi-Public Chargers) (установлены на территории бизнес-центров, отелей, супермаркетов, ресторанов, предназначены для клиентов, сотрудников или гостей, могут быть бесплатными как услуга);
- Частные (Private / Home Chargers) (устанавливаются в гараже, на парковке частного дома или на выделенном месте у многоквартирного дома, как правило, медленные (3.7 кВт) или ускоренные (7.4 кВт) зарядные устройства)[3].

## 3. По типу коннектора (разъема):

➤ Для Медленной и Ускоренной зарядки (AC):

- Type 1 (SAE J1772): Распространен в Северной Америке и Азии (например, на старых Nissan Leaf, Kia Soul EV).
- Type 2 (Mennekes): Стандарт для Европы и России. Устанавливается на всех новых электромобилях, продающихся в РФ (Tesla, Volkswagen, BMW, китайские бренды).

➤ Для Быстрой зарядки (DC):

- CCS (Combined Charging System): Самый распространенный стандарт в Европе и США. Представляет собой разъем Type 2, к которому добавлены два силовых контакта. Фактически, основной стандарт для быстрой зарядки в России.
- CHAdeMO: Распространенный стандарт, особенно у японских машин (Nissan Leaf, Mitsubishi i-MiEV). В России его все еще можно встретить, но его популярность падает.
- GB/T: Китайский стандарт. Им оснащены многие китайские электромобили, которые поставляются в Россию. Для них нужны специализированные станции.
- Универсальные станции часто имеют сразу несколько кабелей с разными разъемами (например, CCS и CHAdeMO).

## 4. По конструктивному исполнению

- Настенные (Wallbox): Компактные устройства для частного или полу-публичного использования. Крепятся на стену;
- Напольные/Стоечные (Floor-standing): Мощные и габаритные станции, чаще всего быстрые (DC). Устанавливаются на АЗС и парковках;

Практический интерес представляет схема подключения зарядной станции к электроэнергетическим сетям. Общая структурная схема подключения ЭЗС к сетям приведена на рисунке 1.

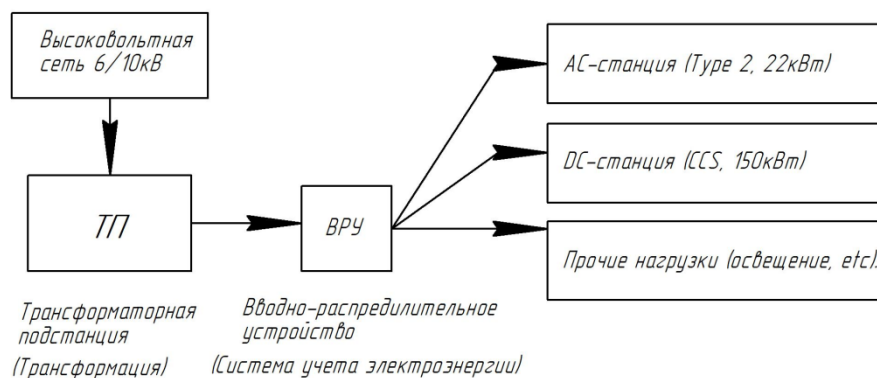


Рисунок 1 – Структурная схема подключения ЭЗС к сетям  
 Figure 1. Structural diagram of connecting an electronic filling station to networks  
 Схема медленной/ускоренной АС-станции (Type 1 / Type 2) приведена на рис. 2.

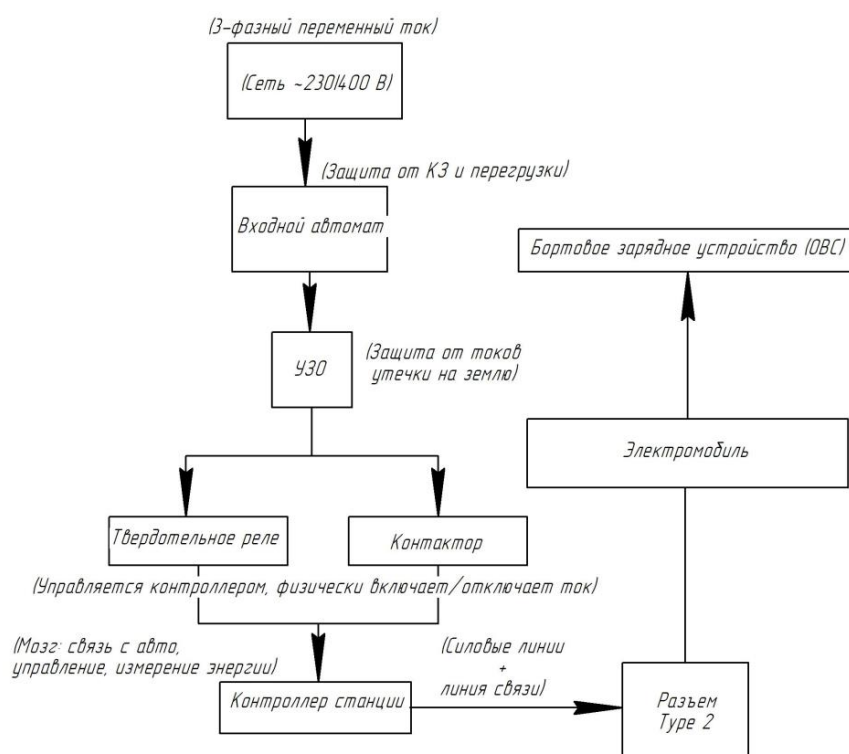


Рисунок 2 – Схема медленной/ускоренной АС-станции (Type 1 / Type 2)  
 Figure 2. Diagram of a slow/fast AC station (Type 1 / Type 2)

Ключевые элементами таких станций являются:

- Защита: Автомат и УЗО.
- Коммутация: Реле/контактор.
- Управление: Контроллер.
- Преобразование (происходит в автомобиле (ОБС)).

Схема быстрой/сверхбыстрой DC-станции (CCS, CHAdeMO) приведена на рис.3.

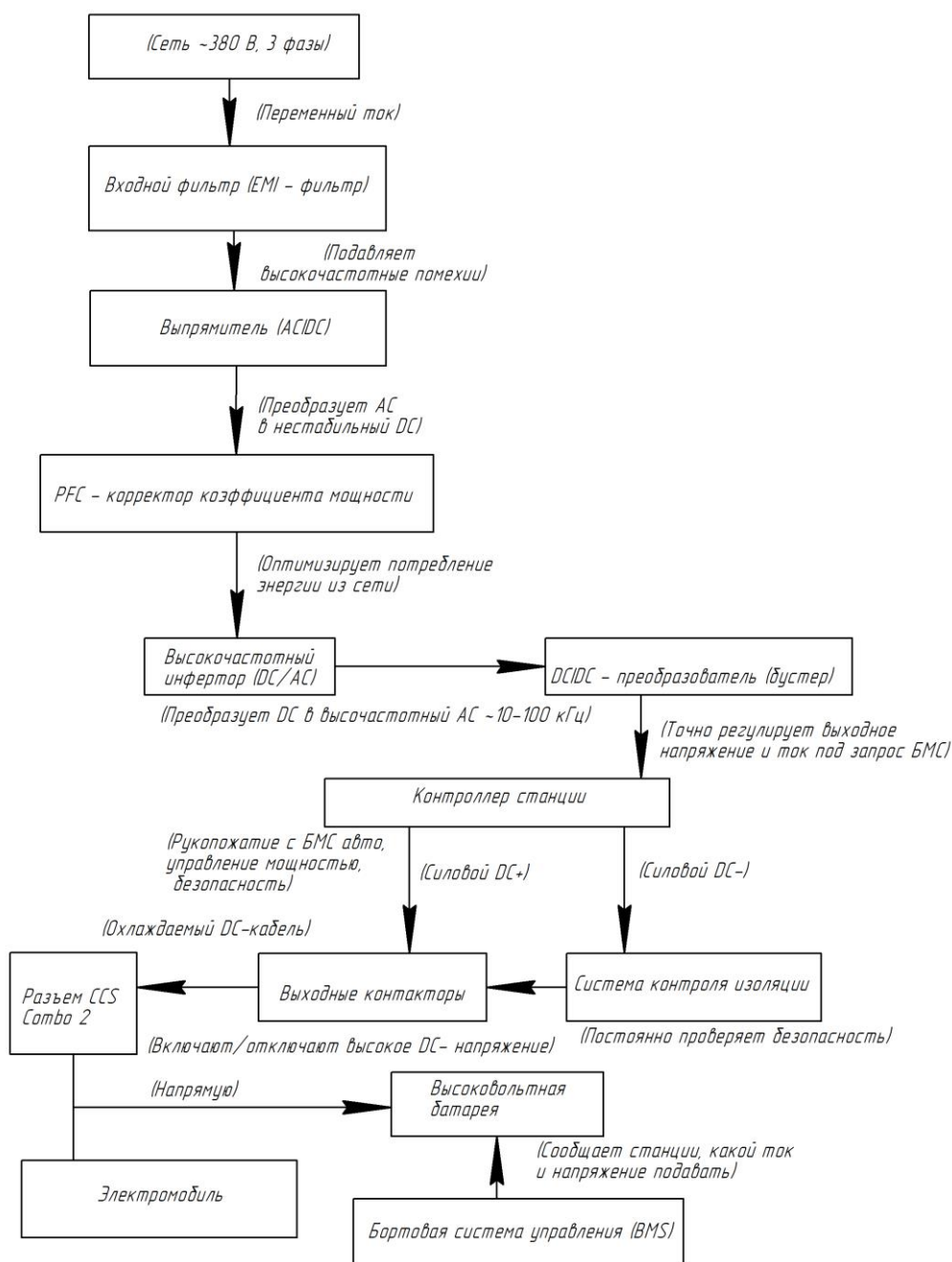


Рисунок 3. Схема быстрой/сверхбыстрой DC-станции (CCS, CHAdeMO)  
 Figure 3. Diagram of a fast/ultra-fast DC station (CCS, CHAdeMO)

Ключевые элементы таких ЭЗС:

- PFC-корректор: Критически важен для эффективной работы от сети.
- ВЧ-инвертор и трансформатор: Позволяют сделать весь преобразовательный блок компактным и эффективным.
- DC/DC-бустер: Точная подстройка параметров под батарею.
- Система контроля изоляции: Главный элемент безопасности, предотвращающий поражение током.
- Преобразование: Происходит внутри станции, автомобиль получает готовый постоянный ток.

Схема мощной станции с накопителем (Буферная ЭЗС) приведена на рис.4.



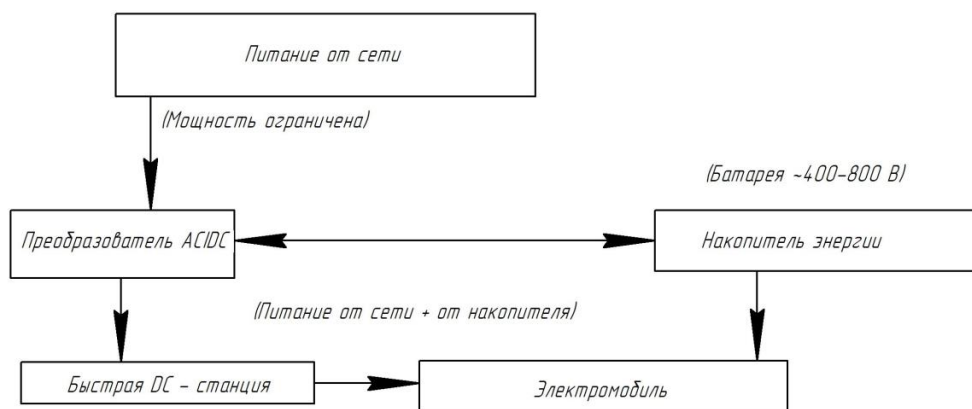


Рисунок 4. Схема мощной станции с накопителем (Буферная ЭЗС)  
Figure 4. Diagram of a powerful station with a storage tank (Buffer filling station)

Принцип работы станций такого типа основан на следующем: Накопитель медленно «заряжается» от сети в периоды низкого спроса (ночь). Когда приезжает автомобиль, станция отдает ему энергию одновременно и из накопителя, и из сети, достигая высокой мощности (до 350 кВт), не создавая пиковой нагрузки на сеть.

Таким образом для глобального распространения электромобилей необходимо решить ключевые проблемы: снижение стоимости электромобилей, опережающее развитие универсальной и надежной зарядной инфраструктуры и адаптация энергетических систем — в первую очередь в странах со средним и начальным уровнем.

Безусловно, развитие в области использования альтернативных источников энергии приведет к снижению выбросов и улучшению экологической ситуации в стране, а развитие сетей электрозаправок станет важным фактором не только для роста популярности электромобилей, но и для формирования нового подхода к экологии и развитию транспортной системы во всей стране.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электрозарядная станция // Википедия. — URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Электрозарядная\\_станция](https://ru.wikipedia.org/wiki/Электрозарядная_станция) (дата обращения: 07.07.2025). — Текст: электронный.
2. В России раскрыли число электрокаров и гибридов // Hi-Tech.Mail.ru. — URL: <https://hi-tech.mail.ru/news/133476-v-rossii-raskryli-chislo-elektrokarov-i-gibridov/> (дата обращения: 07.07.2025). — Текст: электронный.
3. Мировые продажи электромобилей выросли на 29% и перевалили за 20 млн в этом году // 3DNews. — URL: <https://3dnews.ru/1128584/mirovie-prodagi-elektromobiley-virosli-na-29-i-perevalyat-za-20-mln-v-etom-godu> (дата обращения: 07.07.2025). — Текст: электронный.
4. Электромобили // Renwex. — URL: <https://www.renwex.ru/ru/ii/ehlektromobili/> (дата обращения: 07.07.2025). — Текст: электронный.
5. Эволюция зарядных станций для электромобилей: от первых устройств до умных сетей // Habr. — URL: <https://habr.com/ru/articles/726236/> (дата обращения: 07.07.2025). — Текст: электронный.
6. Сколько стоит обслуживание электромобиля и как его снизить // Drom.ru. — URL: <https://www.drom.ru/info/misc/79745.html> (дата обращения: 07.07.2025). — Текст: электронный.
7. ЭЗС: понятие, регламентация в РФ, виды, функционал, основные требования к ним // VoltHab. — URL: <https://volthab.ru/articles/ehzs-ponyatie-reglamentaciya-v-rf-vidy-funkcional-osnovnye-trebovaniya-k-nim/> (дата обращения: 07.07.2025). — Текст: электронный.

## REFERENCES

1. Electric charging station // Wikipedia. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Electric\\_charging\\_station](https://ru.wikipedia.org/wiki/Electric_charging_station) (date of request: 07/07/2025). – Text: electronic.
2. The number of electric cars and hybrids has been revealed in Russia // Hi-Tech.Mail.ru . – URL: <https://hi-tech.mail.ru/news/133476-v-rossii-raskryli-chislo-elektrokarov-i-gibridov/> (date of notification: 07.07.2025). – Text: electronic.
3. Global sales of electric vehicles increased by 29% and will exceed 20 million this year // 3DNews. – URL: <https://3dnews.ru/1128584/mirovie-prodagi-elektromobiley-virosli-na-29-i-perevalyat-za-20-mln-v-etom-godu> (date of request: 07.07.2025). – Text: electronic.
4. Electric vehicles // Renwex. – URL: <https://www.renwex.ru/ru/ii/ehlektromobili/> (date of access: 07.07.2025). – Text: electronic.
5. Evolution of charging stations for electric vehicles: from the first devices to smart grids // Habr. – URL: <https://habr.com/ru/articles/726236/> (date of access: 07.07.2025). – Text: electronic.
6. How much does it cost to maintain an electric vehicle and how to reduce it // Drom.ru . – URL: <https://www.drom.ru/info/misc/79745.html> (date of request: 07.07.2025). – Text: electronic.
7. EHS: concept, regulation in the Russian Federation, types, functionality, basic requirements for them // VoltHab. – URL: <https://volthab.ru/articles/ehzs-ponyatie-reglamentaciya-v-rf-vidy-funkcional-osnovnye-trebovaniya-k-nim/> (date of access: 07.07.2025). – Text: electronic.

## СНИЖЕНИЕ ШУМА АВТОТРАНСПОРТА В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ

С.Ю. Кашченко<sup>1</sup>, Р.А. Кораблев<sup>2</sup>, Э.Н. Бусарин<sup>3</sup>, А.Д. Голев<sup>4</sup>, А.Э. Бусарина<sup>5</sup>  
<sup>1,2,3,4,5</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,  
г. Воронеж, Россия,  
korablevra@vglta.vrn.ru

**Аннотация.** Озеленение дорог – это сложный вопрос, который касается, с одной стороны, ландшафта, через который проходит дорога, а с другой – экологической ценности трассы, безопасности движения и экономических факторов. Шумовое загрязнение является одной из актуальных экологических проблем крупных городов. Шумопонижающее действие древесно-кустарниковой растительности обусловлено рядом физических механизмов. Полученные результаты подтверждают целесообразность использования зелёных полос в системе мероприятий по защите от шума.

**Ключевые слова:** шумовое загрязнение, автомобильный транспорт, ландшафтное планирование.

## REDUCING VEHICLE NOISE IN URBAN CONDITIONS

S.Yu. Kashchenko<sup>1</sup>, R.A. Korablev<sup>2</sup>, E.N. Busarin<sup>3</sup>, A.D. Golev<sup>4</sup>, A.E. Busarina<sup>5</sup>  
<sup>1,2,3,4,5</sup> Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,  
Voronezh, Russia,  
korablevra@vglta.vrn.ru

**Abstract:** Road greening, or reforestation, or planting vegetation along the road, is a complex issue that concerns, on the one hand, the landscape through which the road passes, and on the other, the road's ecological value, traffic safety, and economic factors. Noise pollution is a pressing environmental issue in large cities. The noise-reducing effect of trees and shrubs is due to a number of physical mechanisms. The obtained results confirm the feasibility of using green belts as part of noise control measures.

**Keywords:** noise pollution, motor transport, landscape planning.

Шумовое загрязнение является одной из главенствующих экологических проблем крупных городов. Основным источником городского шума в современных условиях выступает автомобильный транспорт – на его долю приходится в среднем 70% совокупного уровня шума, воспринимаемого населением [1]. Снижение транспортного шума в жилой застройке – важная санитарно-гигиеническая задача. Для борьбы с шумом применяют инженерно-планировочные решения: шумозащитные экраны; дистанцирование жилой застройки от трасс; использование тихого дорожного покрытия и др.

Однако эти меры требуют значительных финансовых затрат и не всегда приемлемы в сложившейся городской застройке. В качестве дополнительного или альтернативного средства снижения уровня шума рассматривается озеленение территорий. Использование функций зеленых насаждений для улучшения условий жизни имеет огромное значение для нашего будущего. Древесно-кустарниковая растительность способна частично поглощать и ослаблять звуковую энергию, а также выполняет иные экологические функции:

- пылепоглощение,
- обогащение воздуха кислородом,

- улучшение микроклимата
- улучшая эстетический облик городской среды.

Цели озеленения автомобильных дорог:

- обеспечить контроль эрозии,
- повышение безопасности водителя,
- уменьшение влияния света фар,
- уменьшение монотонности движения,
- минимизация использования воды,
- смягчение воздействия на использование окружающих земель,
- минимизация требований к техническому обслуживанию,
- усиление регионального и местного характера,
- уменьшение восприятия дорожных и художественных сооружений,
- подчеркнуть сезонные цвета, особенно зимой и весной.

Вопросы шумозащитной эффективности зелёных насаждений поднимались в ряде научных работ [2, 3]. Полученные результаты подтверждают целесообразность использования зелёных полос в системе мероприятий по защите от шума.

Озеленение городских территорий вносит большой вклад в развитие жизненного пространства. Вклад и польза деревьев и кустарников, особенно в городах, в городское и сельское ландшафтное планирование многогранны. Благодаря своим вечнозеленым характеристикам деревья способствуют развитию города и его окрестностей, предотвращая загрязнение воздуха, маскируя шум, уменьшая воздействие ветра, пыли и газа, придавая динамику городской форме, определяя транспортные оси, предотвращая негативное воздействие автомобильных фар, препятствуя эрозии, улучшая климатические условия и эстетические эффекты.

Шумопонижающее действие древесно-кустарниковой растительности обусловлено рядом физических механизмов. Во-первых, при прохождении звуковой волны через толщу зелёных насаждений часть звуковой энергии поглощается листьями, хвойными иглами, ветвями и стволами деревьев. Листья создают среду с более высоким акустическим сопротивлением по сравнению с воздухом, за счёт чего происходит отражение и рассеивание звука, а также его поглощение с преобразованием энергии колебаний в тепловую [4]. Многократные отражения звуковых волн внутри крон деревьев и кустарников приводят к потере энергии, кроме того, энергия затрачивается на колебание и смещение листьев под действием звука. Согласно литературным данным, густолиственные породы способны поглощать до 27 % звуковой энергии, а около 80 % отражать и рассеивать обратно в атмосферу. Во-вторых, древесно-кустарниковая полоса служит препятствием на пути распространения звука, ослабляя звуковое давление по ту сторону насаждений (эффект звукоизоляции). Плотные посадки могут отражать часть звука обратно в сторону дороги, а также создавать акустическую тень за зелёной преградой.

Для повышения эффективности зелёных шумозащитных полос исследователи предлагают комбинировать приёмы озеленения с другими мерами. Например, рекомендуется размещать полосы зеленых насаждений не только вблизи источника шума (дороги), но и вблизи защищаемых объектов (жилой застройки) [5]. Многорядные посадки деревьев и кустарников могут быть интегрированы с земляными валами или невысокими звукозащитными экранами, что даст суммарный эффект. Перспективным направлением считается создание зелёных экранов – специально сформированных вертикальных конструкций, покрытых вьющимися растениями, которые совмещают свойства акустического экрана и поглощающего слоя растительности. Также изучается возможность использования зелёных кровель и озеленения дворовых пространств для снижения шума внутри жилых кварталов. Эти подходы находятся на стадии исследований, но уже показали определенное снижение уровней шума в прилегающих помещениях.

Древесно-кустарниковая растительность способна выполнять важную роль в снижении уровня городского шума. Механизмы поглощения и рассеивания звука зелёными насаждениями дополняют традиционные инженерные методы шумозащиты. Наибольший эффект достигается при создании достаточно широких и плотных полос озеленения с многоярусной структурой. Опыт многолетних исследований показывает, что правильно спроектированные зелёные насаждения могут уменьшить шум от транспорта на величину до 10 дБ и более, что повышает акустический комфорт городской среды. Хотя одного озеленения может быть недостаточно для полной акустической защиты наиболее шумных районов, комбинация зелёных полос с другими мероприятиями (экранами, валами, планировкой) позволяет значительно улучшить ситуацию. Преимущество использования растительности заключается в одновременном решении нескольких задач: помимо снижения шума, зелёные насаждения улучшают качество воздуха, микроклимат и эстетические характеристики городской территории, способствуя созданию благоприятной окружающей среды.

Перспективы применения зелёных насаждений для борьбы с шумом связаны с дальнейшим накоплением знаний о акустических свойствах различных видов растений и оптимальных схемах озеленения. Необходимо учитывать породный состав, сезонность, высоту и ширину посадок при планировании городского озеленения с шумозащитной целью. Современные исследования направлены на разработку специальных «шумозащитных» ландшафтных решений, интегрирующихся в городскую инфраструктуру. Таким образом, древесно-кустарниковая растительность является перспективным, экологически безопасным средством снижения шумового загрязнения, и её грамотное использование в городских условиях позволит повысить комфорт и здоровье жителей мегаполисов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смоляр, Н.И. Исследование эффективности снижения шумового загрязнения городской среды транспортными потоками: дис. ... канд. техн. наук. – Москва, 1982. – 162 с.
2. Винников, Ю.А. Разработка шумозащитных методов с применением зеленых насаждений при развитии селитебных территорий городской застройки: – Москва, 2010. – 169 с.
3. Махонин, Е.В. Экологическая роль зеленых насаждений в защите окружающей среды от воздействия стрессовых факторов города (на примере г. Орла) – Орел, 2006. – 143 с.
4. Аксянова, Т.Ю., Ступакова О.М. Аналитический обзор влияния пространственной структуры зеленых насаждений на их ветро- и шумозащитные свойства.
5. Новикова, С.А., Мартынов Д.Н. Влияние зеленых насаждений на снижение уровня шума от автотранспортных потоков в Иркутске. – Вестник Моск. ун-та. Сер. 5: География, 2022, № 4, с. 16-25.

#### REFERENCES

1. Smolyar, N.I. Investigation of the effectiveness of reducing noise pollution of the urban environment by traffic flows: dis. ... Candidate of Technical Sciences. – Moscow, 1982. – 162 p.
2. Vinnikov, Yu.A. Development of noise protection methods using green spaces in the development of residential areas of urban development – Moscow, 2010. 169 p.
3. Makhonin, E.V. The ecological role of green spaces in protecting the environment from the effects of stress factors in the city (on the example of the city of Orel) – Orel, 2006. – 143 p.
4. Aksyanova, T. Yu., Stupakova O.M. An analytical review of the influence of the spatial structure of green spaces on their wind and noise protection properties.
5. Novikova, S.A., Martynov D.N. The influence of green spaces on reducing noise levels from traffic flows in Irkutsk. – Moscow Bulletin. Uni. Ser. 5: Geography, 2022, No. 4, pp. 16-25.

## ОБМЕН ТЕПЛОМ ПОСРЕДСТВОМ ПРЯМОГО КОНТАКТА В ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

А.П. Новиков<sup>1</sup>, М.С. Хрипченко<sup>2</sup>, А.В. Латынин<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,  
г. Воронеж, Россия

<sup>1</sup>ap-novikov@mail.ru

<sup>2</sup>as-vglu@yandex.ru

<sup>3</sup>lat-07@mail.ru

**Аннотация.** Теплообмен в ДВС, имеющий контактный характер, охватывает процессы передачи тепла между газовой смесью и твердыми частями цилиндра-поршневой группы [1]. К тому же, теплоперенос происходит в зонах непосредственного соприкосновения твердых элементов (поршень — кольцо — цилиндр, клапан — седло, подшипники). Правильное понимание и моделирование этих тепловых взаимодействий являются ключевыми для обеспечения теплового баланса двигателя, его экономичности, долговечности и уровня выбросов [2]. Данная работа посвящена исследованию ключевых механизмов контактного теплообмена в двигателях внутреннего сгорания, а также методов его моделирования и измерения. В работе также проанализировано влияние контактного теплообмена на параметры двигателя и рассмотрены пути его инженерной оптимизации.

**Ключевые слова:** двигатель внутреннего сгорания, теплообмен, газовая смесь, оптимизация, тепловой баланс.

## HEAT EXCHANGE THROUGH DIRECT CONTACT IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES

A.P. Novikov<sup>1</sup>, M.S. Khripchenko<sup>2</sup>, A.V. Latynin<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,  
Voronezh, Russia

<sup>1</sup>ap-novikov@mail.ru

<sup>2</sup>as-vglu@yandex.ru

<sup>3</sup>lat-07@mail.ru

**Annotation.** The heat exchange in the internal combustion engine, which has a contact character, covers the processes of heat transfer between the gas mixture and the solid parts of the cylinder-piston group. In addition, heat transfer occurs in areas of direct contact of solid elements (piston — ring — cylinder, valve — seat, bearings). Proper understanding and modeling of these thermal interactions are key to ensuring the thermal balance of the engine, its efficiency, durability and emissions levels. This work is devoted to the study of the key mechanisms of contact heat exchange in internal combustion engines, as well as methods of its modeling and measurement. The paper also analyzes the effect of contact heat transfer on engine parameters and considers ways of its engineering optimization.

**Keywords:** internal combustion engine, heat transfer, gas mixture, optimization, thermal balance.

В ходе работы ДВС в цилиндрах происходят интенсивные энергетические превращения. Топливо воспламеняется, генерируя высокотемпературные газы, которые отдают тепло стенкам цилиндра, поршню и головке блока. Важное значение имеет также теплообмен, реализующийся через твердые контакты (поверхности поршневой группы, подшипники, опоры клапанов). Контактный теплообмен оказывает существенное

влияние на распределение температур, возникновение тепловых напряжений, износ и смазочно-трибологические характеристики [3]. Понимание и управление этими процессами требуется для повышения КПД и ресурса двигателя.

Газо-твердофазный контакт (конвективный и лучистый теплообмен)

Основной путь отвода теплоты от газов — конвекция при контакте газа с поверхностями камер сгорания и стенками цилиндра; дополнительно присутствует теплоизлучение от горячих газов и продуктовых потоков.

Для описания используют закон Ньютона для поверхностных теплообменных процессов.

Особенность ДВС — нестационарность и сильная зависимость  $h$  от тактового положения поршня, давления, температуры и локальных скоростей газов (пульсации, вихри, струи от впрыска и клапанов) [4].

В местах непосредственного соприкосновения тел (кольцо — цилиндр, сопряжения поршня, седло клапана) реальная площадь контакта значительно меньше номинальной и состоит из множества микроконтактов, разделённых микронеровностями и заполненных смазкой или воздухом.

Теплоперенос через такие контакты определяется двумя параллельными путями: теплопроводность через реальные контакты и через немассированные зазоры (проведение через тонкие слои смазки, контактные газы) и теплоперенос через микровоздушные зазоры (переменчивый теплообмен, преимущественно кондукция и местами рассеяние лучевой энергии) [5].

В пределах цилиндра часто применяются полузависимые эмпирические корреляции для  $h$  (например, Woschni, Hohenberg и др.), связывающие коэффициент теплоотдачи со средними скоростями газа, давлением, температурой и геометрическими размерами. Эти корреляции удобны для расчёта среднего теплового потока в циклограммах.

Теплопередача через контактные поверхности моделируется на основе теории контактной механики (Гертц, Greenwood–Williamson) и моделей теплового контактного сопротивления (Yovanovich, Mikic и др.). Реальная площадь контакта  $A_r$  увеличивается с ростом нормальной нагрузки и зависит от распределения высот микронеровностей.

Для конвективного теплообмена применяют числа подобия:  $Re$ ,  $Pr$ ,  $Nu$ , что позволяет использовать корреляции для различных режимов потока и геометрий (стенки, щели, канал цилиндра) [6].

В ДВС применяют термопары, тепловые датчики поверхности и интегральные методы для измерения тепловых потоков; инфракрасная термография позволяет получать пространственные распределения температур на наружных поверхностях.

Для изучения контактной проводимости используют лабораторные методы: метод «flash» для измерения теплопроводности слоёв, стационарные методы теплового контакта, специализированные стенды с контролируемым давлением и температурой контакта [7].

Оптические и аэродинамические эксперименты (optical engines, PIV — Particle Image Velocimetry) дают информацию о скоростях и турбулентности внутри цилиндра, что важно для уточнения  $h$ .

Тепловые потери в стенках цилиндров и через контактные узлы снижают общую эффективность двигателя, уменьшают полезную работу и изменяют температурный режим, который влияет на механизм сгорания и возможность детонации [8].

Неправильное распределение температур вызывает локальные перегревы, термические напряжения и ускоренный износ (поршень, кольца, седла клапанов), влияет на смазку и образование нагара.

Контактная проводимость через поршневую группу важна для отвода тепла от поршня к кольцам и далее в систему охлаждения; снижение проводимости (например, из-за загрязнения или газа в микрозазорах) приводит к повышению температуры поршневой верхней части и снижению ресурса.

*Материалы и покрытия.* Использование керамических термобарьерных покрытий (ТВС) на головке и поршневой короне уменьшает теплотери в охлаждающую систему и повышает локальную температуру горения, что может повысить термодинамический КПД, но увеличивает тепловую нагрузку на детали. Диэлектрические и DLC-покрытия на кольцах и юбках уменьшают трение и изменяют контактную проводимость.

*Управление смазкой.* Толщина и состав масляной плёнки в контактах существенно влияют на теплопередачу и износ. Режим масляной смазки оптимизируют для баланса отвода тепла и снижения трения.

*Геометрия и охлаждение.* Оптимизация охлаждающей рубашки, установка масляных форсунок на поршень, изменение формы юбки и кольцевых канавок позволяют перераспределять тепло и снижать пиковые температуры.

*Текстурирование и обработка поверхностей.* Управляемая шероховатость и текстуры могут корректировать реальную контактную площадь, улучшая теплопроводность в необходимых зонах и уменьшая трение в других.

Современные подходы объединяют CFD для описания горения и газодинамики с моделями конвективного теплообмена и переносом тепла в твердых телах (conjugate heat transfer, СНТ). Для детальных задач применяют LES/DNS, но чаще используют RANS с моделями турбулентности [9].

Для контактной проводимости используют многоуровневые модели: макроскопические расчёты контактного давления, микромасштабные модели шероховатости и гетерогенной теплопроводности межфазной области. Часто применяется сопряжение CFD + FEM (трехмерная теплопроводность твердой части) с учётом переменных граничных условий.

Разработка упрощённых и приближённых моделей (сегментные сетки, эмпирические поправки) остаётся востребованной для инженерного проектирования и быстрого анализа.

Переход к более высоким степеням сжатия и альтернативным видам топлива требует более точного управления тепловыми потоками, что стимулирует развитие аддитивных поверхностных текстур, новых материалов и интеллектуальных систем охлаждения.

Многоуровневое моделирование с учётом микроструктур, данных измерений и машинного обучения позволяет создавать более точные и быстрые предиктивные модели теплового поведения ДВС [10].

В гибридных и маломощных двигателях роль оптимизации контактного теплообмена возрастает в связи с необходимостью быстрого прогрева до рабочей температуры и минимизации потерь при частичных нагрузках.

Контактный теплообмен в ДВС — комплексный мультифизический процесс, включающий конвективный обмен между газами и стенками и теплопроводность через реальные микроконтакты твердых тел. Его влияние на эффективность, ресурс и экологические характеристики двигателя делает тему критически важной для проектирования и оптимизации. Комбинация экспериментальных исследований, развитого численного моделирования и инженерных мер (материалы, покрытия, смазка, геометрия, охлаждение) даёт возможности для значительного повышения эффективности и надёжности современных двигателей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кавтарадзе, Р.З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001.-592 с.
2. Reducing the impact of transport machinery and equipment on the environment during re-forestation: An innovative approach / Khripchenko, M., Novikov, A., Goncharov, A., Snyatkov, E. // Proceedings of the 33rd International Business Information Management Association Conference,



IBIMA 2019: Education Excellence and Innovation Management through Vision 20202019, Pages 2438-2445.

3. Шлыков Ю.П., Ганин Е.А., Царевский С.Н. Контактное термическое сопротивление-М.: Энергия, 1977-328с.

4. Попов В.М. Теплообмен в зоне контакта разъемных и неразъемных соединений-М: Энергия, 1977-216с.

5. Меснянкин С.Ю., Викулов В.Г., Викулов Д.Г. Современный взгляд на проблемы теплового контактирования твердых тел.//Успехи физических наук. 2009-Т.179.-№9

6. Howard Y.R., Sutton A.E. An axperimental Study of Heat Transfer Thraqh Periodically Contacting Surface // Ynter.Vournal of Heat Mass Transfer. 1970. Vol.13.

7. Говард Ю.Р., Саттон А.Е. Влияние теплового контактного сопротивления на процесс тепла между периодически контактирующими поверхностями // Теплопередача. 1973.-№3.

8. Howard Y.R. An axperimental Study of Heat Transfer Thraqh Periodically Contactingq Surface // Ynter.Vournal of Heat Mass Transfer. 1976. Vol.19.

9. Чернышов А.Д., Попов В.М., Карпов А.А. Контактная теплопроводность через периодически соприкасающиеся стержни.// Инженерно-физический журнал. 2008.- Т.81.-№5.

10. Попов В.М., Карпов А.А., Крючков А.Е., Иванов А.В. Теплопроводность между периодически контактирующими поверхностями // Вестник ВГТУ. 2007-Т.3.-№6.

## REFERENCES

1. Kavtaradze, R.Z. Local heat transfer in piston engines. Moscow: Publishing House of Bau-man Moscow State Technical University, 2001. 592 p.

2. Reducing the impact of transport machinery and equipment on the environment during reformation: An innovative approach / Khripchenko, M., Novikov, A., Goncharov, A, Snyatkov, E. // Proceedings of the 33rd International Business Information Management As-society Conference, IBIMA 2019: Education Excellence and Innovation Management through Vision 20202019, Pages 2438-2445.

3. Shlykov Yu.P., Ganin E.A., Tsarevsky S.N. Contact thermal resistance, Moscow: Energiya, 1977-328s.

4. Popov V.M. Heat transfer in the contact zone of separable and non-separable joints-Moscow: Energiya, 1977-216с.

5. Mesnyankin S.Yu., Vikulov V.G., Vikulov D.G. A modern view on the problems of thermal contacting of solids.//Achievements of physical sciences. 2009-Vol.179.-No. 9

6. Howard Y.R., Sutton A.E. An experimental Study of Heat Transfer Through periodically Contacting Surface // Ynter.Journal of Heat Mass Transfer. 1970. Vol.13.

7. Howard Y.R., Sutton A.E. Influence of thermal contact resistance on the heat process between periodically contacting surfaces // Heat transfer. 1973.-№3.

8. Howard Y.R. An experimental Study of Heat Transfer through Periodically Contacting Surface // Ynter.Journal of Heat Mass Transfer. 1976. Vol.19.

9. Chernyshov A.D., Popov V.M., Karpov A.A. Contact thermal conductivity through periodically touching rods.// Engineering and Physics Journal. 2008. Vol.81.No.5.

10. Popov V.M., Karpov A.A., Kryuchkov A.E., Ivanov A.V. Thermal conductivity between periodically contacting surfaces // Vestnik VGTU. 2007-Vol.3.-No. 6.

## АНАЛИЗ ПРИЧИН АВАРИЙНОСТИ НА ДОРОГАХ ТАДЖИКИСТАНА

В. И. Сарбаев <sup>1</sup>, А. Г. Махрамов <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Московский политехнический университет, г. Москва, Россия

<sup>1</sup> visarbaev@gmail.com

<sup>2</sup> mahramovamin@gmail.com

**Аннотация.** Статья посвящена анализу причин дорожно-транспортных происшествий (ДТП) на автомобильных дорогах Республики Таджикистан. Улучшение культуры вождения, повышение уровня образования водителей и строгое соблюдение правил дорожного движения являются ключевыми мерами для повышения безопасности на дорогах Таджикистана.

**Ключевые слова:** дорожно-транспортные происшествия, безопасность дорожного движения, Республика Таджикистан, причины ДТП, культура вождения, правила дорожного движения, состояние дорог, образование водителей.

## ANALYSIS OF THE CAUSES OF ROAD ACCIDENTS IN TAJIKISTAN

V. I. Sarbaev <sup>1</sup>, A. G. Mahramov <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

<sup>1</sup> visarbaev@gmail.com

<sup>2</sup> mahramovamin@gmail.com

**Abstract.** This article analyzes the causes of road traffic accidents (RTAs) on the roads of the Republic of Tajikistan. Improving driving standards, increasing driver education, and strictly enforcing traffic rules are key measures to improve road safety in Tajikistan.

**Keywords:** road accidents, road safety, Republic of Tajikistan, causes of accidents, driving standards, traffic rules, road conditions, driver education.

### Введение

Дорожно-транспортные происшествия (ДТП) в Республике Таджикистан остаются одной из острых социальных и экономических проблем, приводя к значительным человеческим жертвам и материальному ущербу.

В 2024 году в стране было зарегистрировано 539 аварий, в которых погибли 236 человек и 570 получили ранения.

**Причины аварийности.** Анализ аварийности показывает, что основными причинами аварий являются человеческий фактор, несоблюдение правил дорожного движения (ПДД), превышение скорости, а также недостаточная культура вождения и пешеходного поведения, в том числе [1].

- Превышение скорости, которое составляет до 50% всех аварийных случаев;
- Несоблюдение правил обгона (около 25%);
- Усталость водителей, особенно на международных трассах (примерно 5%);
- Техническое состояние транспортных средств (до 10%);
- Состояние дорожного покрытия (5%);
- Низкая культура поведения водителей и пешеходов, незнание базовых правил дорожного движения, и др. (5%).

Основными факторами, способствующими ДТП, являются:

- Вождение в нетрезвом состоянии: употребление алкоголя или наркотических веществ перед управлением транспортным средством.
- Несоблюдение правил дорожного движения: превышение скорости, нарушение правил проезда перекрёстков, выезд на полосу встречного движения.
- Использование мобильных устройств за рулём: разговоры по телефону или использование других гаджетов во время движения.
- Состояние дорожного покрытия: плохое качество дорог, наличие ям, трещин и других дефектов, ухудшающих сцепление шин с дорогой и повышающих риск аварий.
- Незнание или игнорирование правил дорожного движения: недостаточный уровень образования водителей о правилах дорожного движения, что приводит к ошибкам и нарушению правил.
- Коррупция при выдаче водительских прав, а также при фиксации, оформлении и расследовании нарушений ПДД и аварий, что порождает у водителей чувство безнаказанности и приводит к повторным многократным систематическим нарушениям.
- Интенсивный рост числа транспортных средств (более 600 тысяч зарегистрированных автомобилей), что повышает риск аварий.

Человеческий фактор, включая игнорирование правил безопасности, таких, как не пристёгнутый ремень безопасности и отсутствие использования детских удерживающих устройств, существенно увеличивает вероятность серьезных травм и смертельных исходов.

### **Конкретные меры по предотвращению ДТП.**

В Республике Таджикистан действует государственная программа по обеспечению безопасности дорожного движения (БДД), реализуемая МВД и другими государственными органами [2].

Цели программы:

Основные цели программы БДД – снижение числа дорожно-транспортных происшествий (ДТП), профилактика нарушений ПДД, а также минимизация тяжести последствий аварий. Правительство Таджикистана утверждает нормативные акты, проводит государственную политику в сфере безопасности дорожного движения и координирует деятельность различных министерств и ведомств.

Основные направления деятельности МВД:

Пропаганда использования ремней безопасности и проведение совместных рейдов.

Формирование и реализация профилактических и просветительских мероприятий (включая обучение ПДД с дошкольного возраста).

Контроль за соблюдением скоростного режима, состоянием транспортных средств и наличием необходимых средств защиты (ремни, детские удерживающие устройства, шлемы).

Организация специальных операций (например, «Ремень безопасности») и постоянный мониторинг нарушений.

Учёт ДТП, разработка нормативных актов и внедрение статистической отчётности.

Создание рабочих групп и проведение обучающих курсов для водителей и работников транспортных организаций.

Все эти меры организуются для обеспечения комплексного подхода и повышения дисциплины участников дорожного движения.

В республике разработан и внедрен комплекс мероприятий, направленных на снижение аварийности:

- Усиление контроля за соблюдением правил дорожного движения силами ГАИ, проведение круглосуточных рейдов и целевых операций (например, операции «Ремень безопасности»);

- Внедрение и повышение эффективности инфраструктурных решений, таких, как ограничение скоростных режимов (60 км/ч в городах, до 100 км/ч на автомагистралях), дорожной разметки и знаков, обеспечивающих логичное и понятное движение транспорта;

- Законодательные инициативы: приняты законы «О дорожном движении», «О транспортной безопасности», введены стандарты по безопасности транспортных средств, ремней безопасности, детских удерживающих систем и мотоциклетных шлемов;

- Работа по повышению культуры вождения через агитацию и пропаганду, трансляция информационных роликов о последствиях нарушения ПДД,

- обучение и просветительская деятельность;

- Внедрение автоматических устройств фиксации скорости и нарушения ПДД, а также ужесточение штрафов и наказаний вплоть до дисквалификации и

- долгосрочного лишения водительских прав;

- Борьба с коррупцией, как одним из факторов безнаказанности, обеспечение прозрачности выдачи водительских удостоверений и расследования ДТП;

- Повышение качества и оперативности оказания медицинской помощи пострадавшим в ДТП, чтобы снизить смертность и тяжелые последствия аварий.

### **Перспективы и рекомендации**

Предотвращение дорожно-транспортных происшествий в Таджикистане требует комплексного подхода с равным акцентом на законодательные, инфраструктурные, образовательные и правоохранные меры. Следует продолжать установку и контроль работы камер видеонаблюдения и систем фиксации нарушений для снижения человеческого фактора и коррупции [2].

Повышение культуры безопасности на дорогах возможно также через массовые просветительские кампании и изменения в системе обучения водителей. Кроме того, важно уделять внимание безопасности пешеходов и повышению их ответственности на дорогах.

Несмотря на принимаемые меры, остаются значительные вызовы, требующие комплексного подхода. Рекомендуется продолжить установку и контроль работы камер видеонаблюдения и систем фиксации нарушений для снижения человеческого фактора и коррупции. Также необходимо усилить просветительские кампании, направленные на повышение культуры безопасности на дорогах, и уделять внимание безопасности пешеходов. Только последовательное и согласованное выполнение этих мероприятий способно привести к значительному снижению аварийности и укреплению безопасности дорожного движения в республике [3].

В последние годы Республика Таджикистан сталкивается с серьезными проблемами в области дорожной безопасности, что находит свое отражение в высоком уровне дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Несмотря на предпринятые меры, такие, как усиление контроля за соблюдением правил дорожного движения, внедрение новых законодательных инициатив и проведение просветительских кампаний, остаются значительные вызовы, требующие комплексного подхода и системного решения.

Кроме того, важно обратить внимание на человеческий фактор, который остается одной из основных причин ДТП. Для этого необходимо продолжить и расширить просветительские кампании, направленные на повышение культуры безопасности на дорогах. Такие кампании должны быть ориентированы не только на водителей, но и на

пешеходов, а также на детей, которые являются наиболее уязвимой категорией участников дорожного движения. Образовательные программы должны включать в себя не только теоретические знания о правилах дорожного движения, но и практические занятия, которые помогут закрепить полученные знания.

Уделение внимания безопасности пешеходов также является важным аспектом в борьбе с аварийностью. Необходимо создавать безопасные условия для передвижения пешеходов, включая обустройство тротуаров, пешеходных переходов и зон отдыха. Важно также проводить регулярные проверки состояния дорожной инфраструктуры, чтобы выявлять и устранять потенциальные опасности, такие как ямы, трещины и другие дефекты, которые могут привести к авариям [3].

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Присич, А.В. «Типичные аварийно-опасные ситуации на дороге. Автомобиль. ПДД. Вождение» 2023.
2. Башикова, И.Т. «Анализ аварийности на автомобильных дорогах Согдийской области Республики Таджикистан за 2019 год.
3. Транспортная инфраструктура Таджикистана: современное состояние и перспективы развития // Вестник транспортной науки. – 2022. – №4. – С. 45–52.

#### **REFERENCES**

1. Prisich, A.V. «Typical accident-prone situations on the road. Car. Traffic rules. Driving» 2023.
2. Bashikov, I. T. «Analysis of Road Traffic Accidents on the Roads of Sughd Region of the Republic of Tajikistan for 2019.
3. Transport infrastructure of Tajikistan: current state and development prospects // Bulletin of transport science. – 2022. – No. 4. – P. 45–52.

## Секция 7 Перспективные технологии изготовления и упрочнения деталей автомобилей

УДК 629.3.083

DOI: 10.58168/MSTT2025\_233-237

### СОВРЕМЕННЫЕ ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА АВТОМОБИЛЕЙ

Н.А. Загородний<sup>1</sup>, С.В. Дорохин<sup>2</sup>, А.С. Семькина<sup>3</sup>, Р.В. Гринякин<sup>4</sup>, Е.А. Цой<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова,  
г. Белгород, Россия, n.zagorodnij@yandex.ru

<sup>2</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова  
г. Воронеж, Россия, dsvvrn@yandex.ru

<sup>3</sup> Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова,  
г. Белгород, Россия, allasemykina1@gmail.com

<sup>4</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова  
г. Воронеж, Россия, rv.grinyakin@yandex.ru

<sup>5</sup> Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова,  
г. Белгород, Россия, alexandrrovich@gmail.com

Автор, ответственный за переписку: Руслан Валентинович Гринякин, rv.grinyakin@yandex.ru

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются современные прогрессивные технологии ремонта автомобилей, а именно применение виртуальной и дополненной реальности для ремонта и восстановления поврежденных и неисправных автомобилей. Перечислены основные преимущества использования виртуальной и дополненной реальности при ремонте автомобилей, позволяющие достичь высокого качества проводимого ремонта.

**Ключевые слова.** Виртуальная реальность, дополненная реальность, технологии дополненной и виртуальной реальности, ремонт автомобилей с применением дополненной и виртуальной реальности, современные технологии ремонта автомобилей.

### MODERN PROGRESSIVE CAR REPAIR TECHNOLOGIES

N.A. Zagorodniy<sup>1</sup>, S.V. Dorokhin<sup>2</sup>, A.S. Semykina<sup>3</sup>, R.V. Grinyakin<sup>4</sup>, E.A. Tsoi<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova,  
Belgorod, Russia, n.zagorodnij@yandex.ru

<sup>2</sup> Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozova  
Voronezh, Russia, dsvvrn@yandex.ru

<sup>3</sup> Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova,  
Belgorod, Russia, allasemykina1@gmail.com

<sup>4</sup> Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozova  
Voronezh, Russia, rv.grinyakin@yandex.ru

<sup>5</sup> Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov,  
Belgorod, Russia, alexandrrovich@gmail.com

The author responsible for the correspondence: Ruslan Valentinovich Grinyakin,  
rv.grinyakin@yandex.ru

**Abstract.** This article examines modern, progressive automotive repair technologies, specifically the use of virtual and augmented reality for repairing and restoring damaged and faulty vehicles. The article

outlines the key advantages of using virtual and augmented reality in automotive repair, enabling high-quality repairs.

**Keywords:** Virtual reality, augmented reality, augmented and virtual reality technologies, automotive repair using augmented and virtual reality, modern automotive repair technologies.

В настоящее время всеобщую популярность набирает применение виртуальной и дополненной реальности в автомобильной индустрии. Во многом прогрессивные технологии упрощают применение традиционных способов ремонта и обслуживания автомобилей. С помощью виртуальной и дополненной реальности в ремонте автомобилей значительно сокращается время проведения ремонта и повышается его качество.

Виртуальная и дополненная реальность – это современные технологии, которые позволяют добавить цифровые объекты в реальную картину и расширить созданную реальность. Благодаря применению современных цифровых технологий при ремонте, техническом обслуживании или восстановлении деталей удастся наглядно увидеть планируемый результат. Так, например, применение виртуальной и дополненной реальности при проведении ремонта позволяет увидеть все неисправности автомобиля, а также в скрытых областях, а также наглядно увидеть результат проведенного ремонта. Таким образом, это позволяет скорректировать работы по ремонту, которые даже еще не начались. Или же при применении виртуальной и дополненной реальности при восстановлении деталей позволяет понять, как поведет себя поверхность детали при применении того или иного способа восстановления. В свою очередь, это позволит выбрать наиболее эффективный метод ремонта [1].

Виртуальная и дополненная реальность в автосервисе позволяют взаимодействовать между собой автомеханику с виртуальными объектами, создавая пространство реалистичной картины мира [2]. Применение таких цифровых технологий позволяет лучше понять причины и последствия возникшей неисправности.

С помощью виртуальной и дополненной реальности в автомобильной отрасли возможно решение следующих задач:

- формирование интерактивного опыта в реальном пространстве;
- визуализация подробного устройства автомобилей, видов и последствий возникших отказов;
- корректирование утвержденных до ремонта работ и операций;
- изменение технологического процесса ремонта, технического обслуживания или восстановления деталей;
- обеспечение безопасной эксплуатации транспортных средств;
- оценка и рациональный подбор оборудования для ремонта или технического обслуживания автомобилей.

Применение виртуальной и дополненной реальности позволяют изменить способы взаимодействия специалистов автосервисных центров, автотранспортных предприятий, ремонтных мастерских и т.д. с автомобилем. При создании визуализации ремонта значительно сокращаются временные и материальные затраты на его оказание. Особую роль виртуальная и дополненная реальность играет при проведении диагностирования [3]. Созданная виртуальная картинка позволяет увидеть те отказы, которые могут быть не заметны при реальном первичном осмотре.

Виртуальная и дополненная реальность в автомобильной отрасли отлично взаимодействует с другими современными цифровыми технологиями. Так, например, при взаимодействии с искусственным интеллектом лучше осуществляется анализ

данных, распознаются объекты и опыт работы с виртуальной реальностью становится более интерактивным.

В настоящее время многие автотехцентры уже применяют в своей работе виртуальную и дополненную реальность. В дальнейшем цифровизация будет постепенно внедряться на любое предприятие, так как за новейшими современными разработками стоит будущее. Сейчас уже активно развиваются устройства отображения виртуальной и дополненной реальности, такие как VR-шлемы, AR-очки, смартфоны и планшеты с AR функциями и т.д.

Перспективными разработками являются взаимодействие искусственного интеллекта с виртуальной и дополненной реальностью, позволяющее лучше понимать сложные системы и создавать виртуальные миры более реальными [4].

При взаимодействии виртуальной и дополненной реальности с квантовыми технологиями в автомобильной отрасли легко обеспечить защиту данных, например, ограничить доступ посторонних лиц к информации о повреждениях и предыдущих ремонтах на автомобиле, кроме самого владельца.

Сетевые технологии при взаимодействии с виртуальной и дополненной реальностью позволяют использовать виртуальную информацию на смартфонах и планшетах, но для этого необходима высокая скорость передачи данных и минимальное время задержки. Для пользователей наглядно можно увидеть состояние автомобиля после ремонта на своем мобильном устройстве. Также это позволяет сотрудникам автотехцентров быстро согласовать работы по ремонту, предоставляя владельцу виртуальную картину проводимых операций на экране его телефона.

Интеграция данных от технологий интернет-вещей в виртуальной и дополненной реальности позволяет визуализировать информацию о реальном состоянии автомобиля [5].

Для удобного получения информации из виртуального мира в устройствах воспроизведения виртуальной и дополненной реальности применяются легкие и прочные материалы, обеспечивающие комфорт и удобство пользования.

Интерактивные и интеллектуальные системы позволяют в виртуальной и дополненной реальности создавать более удобную виртуальную среду для общения с пользователем. Например, при проведении диагностики автомобиля с помощью технологий виртуальной и дополненной реальности на экране устройства могут появляться дополнительные подсказки о способах ремонта, особенностях ремонта или применяемого оборудования, могут открываться подобранные коды запасных частей, рекомендуемые марки технических жидкостей и др.

Для поддержания высокой производительности и надежности в интерактивных средах могут использоваться технологии управления сложностью, позволяющие координировать работу множества компонентов виртуальной и дополненной реальности. Например, контролировать визуальные эффекты, работу сенсорных датчиков и т.д., т.е. обеспечивать рабочее состояние функций для обеспечения виртуальной и дополненной реальности, характеризующей техническое состояние автомобиля.

Технологии виртуальной и дополненной реальности являются значительно эффективными, когда требуется не просто рассмотреть устройство автомобиля, но и разобраться в процессах проводимого ремонта, технического обслуживания или восстановления деталей [6]. Виртуальный мир наглядно позволяет осуществить сборку и разборку агрегатов, выявляя возникшие отказы, а также определить наиболее верные способы решения по устранению этих неисправностей. Очень удобно осуществлять практическое взаимодействие пользователя с автомобилем в виртуальном мире, так как возможно выполнять операции в виртуальной среде, наиболее максимально приближенной к реальной.



Технологии виртуальной и дополненной реальности позволяют специалистам работать над объектами, расположенными в разных местах. Так, например, компоненты виртуальной и дополненной реальности могут создавать пошаговую инструкцию для выполнения ремонта на автомобиле, неожиданно вышедшего из строя, стоящего на дороге. Технологии виртуальной и дополненной реальности предоставляют пользователям инструкции и подсказки, которые помогут избежать ошибок во время проведения ремонта.

Технологии дополненной реальности позволяют лучше ориентироваться в пространстве и экономят время на проведение технологических процессов ремонта. Так, например, дополненная реальность может виртуально показать склад из запасных частей и быстро определить место нахождения той или иной запасной части.

При проведении технического обслуживания автомобиля виртуальная и дополненная реальность позволяют автомеханику визуализировать скрытые участки в конструкции автомобиля. Например, при наведении планшета или смартфона с использованием приложений виртуальной и дополненной реальности на определенный узел и компонент автомобиля, на экране визуализируется его внутреннее устройство. Такие технологии в автосервисе ускоряют процесс поиска отказов и неисправностей автомобиля, позволяют правильно произвести операции по техническому обслуживанию, а в некоторых случаях при незначительных операциях воспользоваться подсказками приложений с виртуальной и дополненной реальностью и произвести какие-то мелкие работы самостоятельно.

Виртуальная и дополненная реальность позволяют сравнивать реальные элементы устройства и конструкции автомобиля с их цифровыми аналогами, что дает возможность построения 3D-моделей узлов, деталей и агрегатов автомобиля.

Для обучения специалистов автомобильной отрасли по применению прогрессивных современных технологий в ремонте и обслуживании автомобилей, а также для восстановления поврежденных поверхностей деталей применяют различные цифровые тренажеры и симуляторы, направленные на воссоздание реалистичных сценариев ремонта в виртуальном пространстве при проведении различных операций, а также выполнение интерактивных задач, связанных с диагностикой автомобиля.

Будущее автомобильной отрасли не остановится только на применении виртуальной и дополненной реальности в ремонте автомобилей, но это позволит интегрировать расширенную реальность и применять искусственный интеллект для совершенствования процессов ремонта и методов восстановления.

Внедрение виртуальной и дополненной реальности в технологические процессы ремонта требуют также и проведение дополнительных исследований и научно-обоснованных доказательств для формирования новых подходов к решению поставленных задач, направленных на проведение ремонта или восстановления деталей, в том числе появляется необходимость в подготовке высококвалифицированных кадров, обладающих знаниями и навыками работы с интерактивными технологиями.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Гринякин, Р.В. Эксплуатация автомобилей при использовании технологий больших данных / Р. В. Гринякин, С. В. Дорохин, Н. А. Загородний, А. С. Семькина // Мир транспорта и технологических машин. – 2025. – № 2-3(89). – С. 120-127. – DOI 10.33979/2073-7432-2025-2-3(89)-120-127.
2. Семькина, А.С. Направления развития искусственного интеллекта в автомобильной отрасли / А.С. Семькина, Н.А. Загородний, Д.Ф. Коверженко // В сборнике: Научные технологии и инновации (XXV научные чтения). Сборник докладов Международной научно-практической конференции. Белгород, 2023. С. 1076-1079.

3. Акрамов, А. А. Цифровая трансформация сервисного обслуживания автомобилей: перспективы и практическое применение / А. А. Акрамов // Столыпинский вестник. – 2024. – Т. 6, № 6.
4. Сушкевич, П. П. Трансформация мировой автомобильной промышленности / П. П. Сушкевич // Наука и техника. – 2018. – Т. 17, № 5. – С. 432-439. – DOI 10.21122/2227-1031-2018-17-5-432-439.
5. Янаева, М. В. Возможности VR технологий / М. В. Янаева, В. В. Протасов // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2022. – № 3. – С. 51-54.
6. Андреева, С.О. Автоматизация сервисной деятельности предприятий за счет применения цифровых технологий / С.О. Андреева, Н.А. Загородний, А.С. Семькина // В сборнике: Транспорт и логистика: Развитие в условиях глобальных изменений потоков. Сборник научных трудов VII международной научно-практической конференции. Ростов-на-Дону, 2023. С. 34-38.

## REFERENCES

1. Grinyakin, R.V. Operation of cars using big data technologies / R. V. Grinyakin, S. V. Dorokhin, N. A. Zagorodniy, A. S. Semykina // The world of transport and technological machines. - 2025. - No. 2-3 (89). - P. 120-127. - DOI 10.33979 / 2073-7432-2025-2-3 (89) -120-127.
2. Semykina, A.S. Directions for the development of artificial intelligence in the automotive industry / A.S. Semykina, N.A. Zagorodniy, D.F. Koverzhenko // In the collection: Science-intensive technologies and innovations (XXV scientific readings). Collection of reports of the International scientific and practical conference. Belgorod, 2023. Pp. 1076-1079.
3. Akramov, A. A. Digital transformation of car service: prospects and practical application / A. A. Akramov // Stolypin Bulletin. - 2024. - Vol. 6, No. 6.
4. Sushkevich, P. P. Transformation of the global automotive industry / P. P. Sushkevich // Science and Technology. - 2018. - Vol. 17, No. 5. - Pp. 432-439. - DOI 10.21122/2227-1031-2018-17-5-432-439.
5. Yanaeva, M. V. Possibilities of VR technologies / M. V. Yanaeva, V. V. Protasov // Science. Technology. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2022. – No. 3. – P. 51-54.
6. Andreeva, S.O. Automation of service activities of enterprises through the use of digital technologies / S.O. Andreeva, N.A. Zagorodniy, A.S. Semykina // In the collection: Transport and logistics: Development in the context of global changes in flows. Collection of scientific papers of the VII international scientific and practical conference. Rostov-on-Don, 2023. P. 34-38.

## АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ

А. И. Тетерин <sup>1</sup>, А. П. Трясцин <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Мценский филиал Орловского государственного университета имени И.С. Тургенева,  
г. Мценск, Россия,

Автор, ответственный за переписку: Андрей Игоревич Тетерин, andrey15102002@mail.ru

**Аннотация.** В статье представлен комплексный анализ современных альтернативных технологий изготовления и восстановления автомобильных деталей. Рассмотрены аддитивные методы, включая селективное лазерное сплавление и прямое лазерное выращивание, холодное напыление, лазерная наплавка, термическое напыление и композитные ремонты. Особое внимание уделено сравнительным характеристикам технологий, экономической эффективности и практическим аспектам внедрения в автосервисах и на производственных предприятиях. Статья основана на актуальных исследованиях и практическом опыте внедрения передовых методов восстановления в автомобильной промышленности.

**Ключевые слова:** аддитивные технологии, восстановление деталей, холодное напыление, лазерное наплавление, WAAM, композитные материалы, автомобильные компоненты, неразрушающий контроль.

## ALTERNATIVE TECHNOLOGIES FOR MANUFACTURING AND RESTORING CAR PARTS

A. I. Teterin <sup>1</sup>, A. P. Tryashtsin <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Mtsensk Branch of I.S. Turgenev Orel State University,  
Mtsensk, Russia,

The author responsible for the correspondence: Andrey I. Teterin, andrey15102002@mail.ru

**Abstract.** The article presents a comprehensive analysis of modern alternative technologies for the manufacture and restoration of automotive parts. Additive methods are considered, including selective laser fusion and direct laser growth, cold spraying, laser surfacing, thermal spraying and composite repairs. Special attention is paid to the comparative characteristics of technologies, economic efficiency and practical aspects of implementation in car service stations and manufacturing enterprises. The article is based on current research and practical experience in the implementation of advanced recovery methods in the automotive industry.

**Keywords:** additive technologies, restoration of parts, cold spraying, laser deposition, WAAM, composite materials, automotive components, non-destructive testing.

Современная автомобильная промышленность переживает глубокую технологическую трансформацию, обусловленную необходимостью снижения массы деталей, увеличения их ресурса и улучшения ремонтпригодности. Традиционные методы механической обработки и восстановления постепенно уступают место инновационным технологиям, предлагающим беспрецедентные возможности в области создания и ремонта компонентов транспортных средств.

Динамика роста рынка аддитивных технологий в автомобилестроении демонстрирует устойчивую положительную тенденцию. Если в 2020 году объем рынка составлял 3,2 миллиарда долларов, то к 2026 году прогнозируется рост до 9,1 миллиарда долларов, что составляет ежегодный прирост более 25%. Такой стремительный рост свидетельствует о возрастающей значимости этих технологий для производителей и сервисных центров.

Особенностью современных подходов является их способность не просто восстанавливать геометрию изношенных деталей, но и улучшать их эксплуатационные характеристики, создавая поверхности с повышенной износостойкостью и усталостной прочностью. Эффективность внедрения альтернативных технологий подтверждается статистикой: снижение себестоимости восстановления на 35-40%, увеличение межремонтного периода на 60-80%, сокращение времени простоя оборудования на 45-50%.

**Аддитивные технологии в автомобилестроении** представляют собой совокупность методов послойного синтеза деталей на основе цифровых моделей. Следует выделить следующие аддитивные технологии: селективное лазерное сплавление (SLM), лазерное выращивание (DED), электронно-лучевая плавка [1].

Технология селективного лазерного сплавления демонстрирует исключительную эффективность при изготовлении сложных деталей двигателей и трансмиссий (рисунок 1). Ее характеризует высокая точность построения в диапазоне 20-100 мкм при скорости построения 5-20 см<sup>3</sup>/ч, что позволяет создавать детали с минимальными допусками на механическую обработку. Сравнительный анализ производительности различных технологий показывает, что SLM обеспечивает скорость построения 5-20 см<sup>3</sup>/ч при точности 20-100 мкм, в то время как (достигает 50-300 см<sup>3</sup>/ч при точности 100-500 мкм.

Эта технология особенно ценна для производства компонентов со сложными внутренними полостями и каналами, которые невозможно получить традиционными методами обработки. Для автомобилестроения наиболее перспективны материалы: титановые сплавы Ti6Al4V, жаропрочные никелевые сплавы инконель 718 и алюминиевые сплавы AlSi10Mg, демонстрирующие предел прочности до 450 МПа. Диаграмма распределения использования материалов в автомобильной аддитивной печати показывает, что алюминиевые сплавы занимают 40%, стальные сплавы - 25%, титановые сплавы - 15%, никелевые сплавы - 12%, другие материалы - 8%.

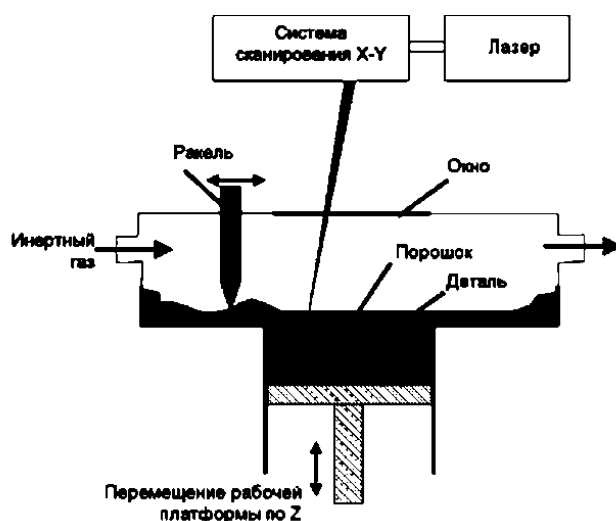


Рисунок 1 - Технология селективного лазерного сплавления  
Figure 1 - Selective laser fusion technology

Методы прямого лазерного выращивания и электро-дуговой наплавки находят широкое применение в восстановлении крупногабаритных деталей. При мощности лазера 1-6 кВт и толщине наплавляемого слоя 0,2-2,0 мм достигается точность восстановления  $\pm 0,1$  мм. График зависимости точности восстановления от толщины наплавляемого слоя демонстрирует, что при толщине слоя 0,2 мм точность составляет  $\pm 0,05$  мм, при 1,0 мм -  $\pm 0,1$  мм, а при 2,0 мм -  $\pm 0,15$  мм.

Эти технологии успешно применяются для ремонта коленчатых валов, распределительных валов и корпусов подшипников, позволяя значительно продлить срок службы дорогостоящих компонентов. Экономический эффект от их применения достигает 70% экономии по сравнению с изготовлением новых деталей, при этом срок службы восстановленных компонентов составляет до 80% от новых аналогов. Сравнительная диаграмма стоимости восстановления различными методами показывает, что традиционная наплавка обходится в 100% стоимости нового изделия, лазерная наплавка - 60%, холодное напыление - 45%, а WAAM - всего 30%.

**Высокоэнергетические методы наплавки** занимают важное место в арсенале современных технологий восстановления (рисунок 2). Лазерная наплавка характеризуется критически важными параметрами процесса: мощность лазера 1-5 кВт, скорость наплавки 0,5-2,0 м/мин, глубина проплавления 0,5-3,0 мм. График зависимости качества наплавки от скорости процесса показывает оптимальную зону при скорости 0,8-1,2 м/мин и мощности 2-3 кВт [2].

Ее ключевым преимуществом является минимальная зона термического влияния, что особенно важно для восстановления ответственных деталей двигателя. Сравнительная гистограмма глубины зоны термического влияния демонстрирует преимущества лазерной наплавки (0,1-0,3 мм) перед плазменной (0,5-1,0 мм) и дуговой (1,5-3,0 мм) наплавкой.

Технология успешно применяется для восстановления кулачков распределительных валов, седел клапанов и шеек коленчатых валов, обеспечивая высокую адгезию наплавленного материала и сохранение механических свойств базового материала. Статистика увеличения срока службы деталей после восстановления показывает, что для распределительных валов срок службы увеличивается на 80%, для коленчатых валов - на 70%, для седел клапанов - на 90% [3].

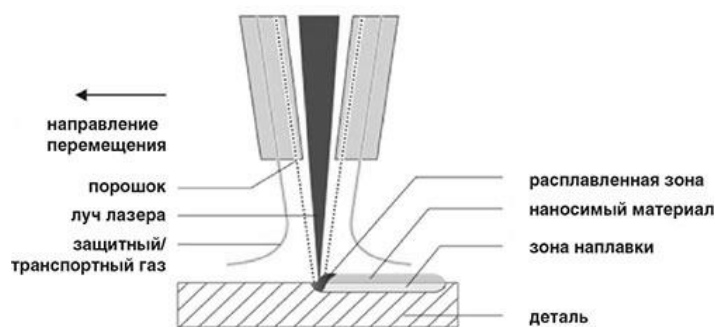


Рисунок 2 - Технология лазерной наплавки  
Figure 2 - Laser surfacing technology

Плазменная наплавка демонстрирует выдающиеся технико-экономические показатели: КПД процесса достигает 85-90%, коэффициент наплавки составляет 8-12 г/А·ч. Анализ эффективности использования материалов показывает, что плазменная наплавка обеспечивает использование 92% материала, в то время как лазерная - 85%, а дуговая - только 75%.

Наплавка позволяет снизить стоимость восстановления на 30-40% и увеличить межремонтный период в 1,5-2 раза. Экономическая эффективность плазменной наплавки делает ее особенно привлекательной для сервисных центров и ремонтных предприятий, занимающихся восстановлением крупных партий однотипных деталей. Круговая диаграмма распределения затрат при плазменной наплавке показывает, что 45% составляют материалы, 25% - энергия, 20% - амортизация оборудования и 10% - трудозатраты.

**Холодные технологии напыления** открывают новые возможности для восстановления деталей без термического воздействия. Газодинамическое напыление (HVOF) характеризуется уникальными параметрами: скорость частиц 500-1200 м/с, температура процесса 200-800°C (рисунок 3). График зависимости качества покрытия от скорости частиц демонстрирует, что оптимальные результаты достигаются при скорости 800-1000 м/с [4].

Отсутствие термических деформаций и сохранение исходной микроструктуры материала делают эту технологию идеальной для восстановления алюминиевых блоков цилиндров, чугунных картеров двигателей и деталей из цветных металлов. Сравнительная диаграмма остаточных напряжений в покрытиях показывает, что холодное напыление создает напряжения сжатия 50-100 МПа, в то время как термические методы приводят к напряжениям растяжения 200-400 МПа.

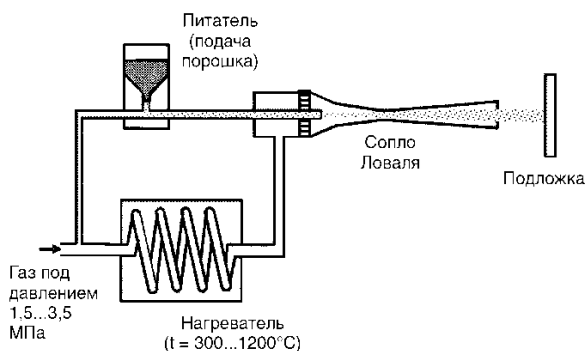


Рисунок 3 – Технология газодинамического напыления  
Figure 3 – Gas dynamic spraying technology

Технология особенно эффективна для восстановления изношенных поверхностей и нанесения антикоррозионных покрытий. Статистика применения по типам деталей показывает, что 35% приходится на блоки цилиндров, 25% - на картеры двигателей, 20% - на детали трансмиссии и 20% - на другие компоненты.

Высокоскоростное газопламенное напыление позволяет получать покрытия с исключительными характеристиками: пористость менее 1%, твердость до 1200 НV, адгезия более 70 МПа. График зависимости свойств покрытия от параметров процесса демонстрирует оптимальные зоны для различных комбинаций давления газа и расстояния напыления.

Эти параметры делают HVOF идеальным выбором для восстановления валов, направляющих и других высоконагруженных компонентов. Используемые материалы: карбиды вольфрама, никель-хромовые сплавы и самосплавляющиеся порошки обеспечивают высочайшую износостойкость восстановленных поверхностей. Диаграмма износостойкости покрытий показывает, что HVOF покрытия превосходят традиционные методы в 3-5 раз по сопротивлению абразивному износу.

**Композитные материалы в ремонте** представляют собой отдельное перспективное направление. Современные составы для ремонта включают эпоксидные

матрицы с углеродным волокном, полиуретановые композиты с кевларовым наполнителем, термопластичные композиты с базальтовым волокном. Анализ применения композитных материалов показывает, что 40% приходится на кузовной ремонт, 25% - на интерьер, 20% - на пластиковые компоненты и 15% - на другие применения [5].

Эти материалы демонстрируют прочность на сжатие до 120 МПа и температурную стойкость в диапазоне от -60 до +200°C. График зависимости прочности от температуры для различных композитных материалов показывает, что эпоксидные композиты сохраняют прочность до 120°C, полиуретановые - до 80°C, а термопластичные - до 150°C.

Технология «жидкий металл» с временем полимеризации 15-30 минут открывает новые возможности для быстрого ремонта кузовных элементов, восстановления пластиковых деталей интерьера и герметизации соединений. Динамика роста прочности во времени показывает, что через 15 минут достигается 70% прочности, через 30 минут - 90%, а полная прочность - через 24 часа.

**Сравнительный анализ технологий** показывает значительные различия в их характеристиках и областях применения. Анализ технологий восстановления показывает, что традиционная ручная дуговая наплавка обеспечивает толщину слоя 2-10 мм при твердости 20-55 HRC и стоимости 5-15 у.е./кг, но уступает современным методам по точности и производительности. Лазерная наплавка предлагает толщину слоя 0,5-3,0 мм при твердости 30-62 HRC, но имеет более высокую стоимость 50-150 у.е./кг. Холодное напыление занимает промежуточное положение с толщиной слоя 0,5-5,0 мм, твердостью 40-65 HRC и стоимостью 80-250 у.е./кг, демонстрируя лучшую производительность 300-1200 см<sup>3</sup>/ч.

Диаграмма «стоимость-эффективность» различных технологий четко показывает три кластера: традиционные методы с низкой стоимостью и эффективностью, современные технологии со средней стоимостью и высокой эффективностью, и специализированные методы с высокой стоимостью и максимальной эффективностью.

**Экономическая эффективность** внедрения альтернативных технологий подтверждается многочисленными исследованиями и практическим опытом (рисунок 4). Анализ показывает снижение расхода материалов на 25-40%, увеличение стойкости восстановленных деталей в 1,5-3 раза, сокращение энергозатрат на 15-30% и уменьшение количества брака на 20-35%. График окупаемости инвестиций в оборудование демонстрирует, что установки холодного напыления окупаются за 12-18 месяцев, лазерной наплавки - за 18-24 месяца, а аддитивные установки - за 24-36 месяцев.

Хотя капитальные затраты на оборудование для аддитивных технологий остаются высокими, их окупаемость составляет 3-4 года, в то время как технологии холодного напыления и плазменной наплавки окупаются за 1-2 года. Круговая диаграмма структуры затрат при внедрении новых технологий показывает, что 40% составляют оборудование, 25% - обучение персонала, 20% - материалы и 15% - сертификация.

### **Заключение**

Современные альтернативные технологии восстановления автомобильных деталей демонстрируют значительные преимущества перед традиционными методами. Наиболее перспективными направлениями являются аддитивные технологии для сложных деталей, холодное напыление для алюминиевых и чугунных компонентов, и лазерная наплавка для ответственных узлов.

Прогноз развития рынка технологий восстановления до 2030 года показывает, что доля аддитивных технологий вырастет с 15% до 35%, холодного напыления - с 10% до 25%, а традиционных методов снизится с 75% до 40%. Это свидетельствует о

необратимости технологической трансформации в области восстановления автомобильных компонентов.

Дальнейшее развитие отрасли будет определяться совершенствованием материалов, созданием интегрированных производственных систем и разработкой комплексных цифровых решений. Успешная реализация этих направлений позволит достичь новых уровней эффективности и конкурентоспособности в автомобильной промышленности, обеспечивая значительную экономию ресурсов и улучшение экологических показателей производственных процессов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кабакова, Н. А. Перспективы применения новых технологий на примере аддитивных технологий в сельскохозяйственном машиностроении / Н. А. Кабакова, П. Н. Кузнецов // Наука и Образование. – 2024. – Т. 7, № 3. – EDN JTLGXY.
2. Сараев, Ю. Н. Анализ направлений совершенствования технологических процессов сварки и наплавки на основе методов управляемого высокоэнергетического воздействия на характеристики тепломассопереноса при импульсно-дуговых технологиях сварки и наплавки / Ю. Н. Сараев // Евразийское Научное Объединение. – 2017. – Т. 1, № 11(33). – С. 47-50. – EDN ZWEASP. Кровопусков, Е. А. К вопросу об аддитивных технологиях в машиностроении / Е. А. Кровопусков, П. А. Кровопусков // Проблемы и перспективы развития современного машиностроения : Сборник статей международной научной конференции, Липецк, 30 мая 2023 года. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2024. – С. 46-51. – EDN CQPMOH.
3. Беседина, К. С. Применение аддитивных технологий полимеров в машиностроении / К. С. Беседина, Н. А. Лавров, В. В. Барсков // Инновационные материалы и технологии в дизайне : Тезисы докладов IV Всероссийской научно-практической конференции с участием молодых ученых, Санкт-Петербург, 22–23 марта 2018 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения, 2018. – С. 26-27. – EDN YWKBFY.
4. Яковенко, И. С. Оптимизация процесса холодного напыления металлов для аддитивных технологий / И. С. Яковенко, А. Л. Котельников, А. Д. Киверин // Вестник Объединенного института высоких температур. – 2022. – Т. 8, № 2. – С. 22-27. – DOI 10.33849/2022205. – EDN ZRKFNH.
5. Перевертов, В. П. Классификации наноматериалов для традиционных и аддитивных технологий в системе транспортного машиностроения / В. П. Перевертов, Н. А. Кузин, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2022. – № 2(38). – С. 70-77. – DOI 10.21685/2307-4205-2022-2-8. – EDN MYCRPF.

## REFERENCES

1. Kabakova, N. A. Prospects for the application of new technologies on the example of additive technologies in agricultural engineering / N. A. Kabakova, P. N. Kuznetsov // Science and Education. – 2024. – Vol. 7, No. 3. – EDN JTLGXY.
2. Saraev, Yu. N. Analysis of ways to improve technological processes of welding and surfacing based on methods of controlled high-energy effects on heat and mass transfer characteristics in pulsed arc welding and surfacing technologies / Yu. N. Saraev // Eurasian Scientific Association. – 2017. – Vol. 1, No. 11(33). – pp. 47-50. – EDN ZWEASP. Krovopuskov, E. A. On the issue of additive technologies in mechanical engineering / E. A. Krovopuskov, P. A. Krovopuskov // Problems and prospects of development of modern mechanical engineering : Collection of articles of the international scientific conference, Lipetsk, May 30, 2023. Lipetsk: Lipetsk State Technical University, 2024. pp. 46-51. EDN CQPMOH.
3. Besedina, K. S. Application of additive polymer technologies in mechanical engineering / K. S. Besedina, N. A. Lavrov, V. V. Barskov // Innovative materials and technologies in design : Abstracts of the IV All-Russian Scientific and Practical conference with the participation of young scientists, St.



Petersburg, March 22-23, 2018. – Saint Petersburg: Saint Petersburg State Institute of Cinema and Television, 2018. – pp. 26-27. – EDN YWKBFY.

4. Yakovenko, I. S. Optimization of the process of cold spraying of metals for additive technologies / I. S. Yakovenko, A. L. Kotelnikov, A.D. Kiverin // Bulletin of the United Institute of High Temperatures. – 2022. – Vol. 8, No. 2. – pp. 22-27. – DOI 10.33849/2022205. – EDN ZRKFBY.

5. Perevertov, V. P. Classifications of nanomaterials for traditional and additive technologies in the system of transport engineering / V. P. Perevertov, N. A. Kuzin, N. K. Yurkov // Reliability and quality of complex systems. – 2022. – № 2(38). – Pp. 70-77. – DOI 10.21685/2307-4205-2022-2-8. – EDN MYCRPF.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ РЕМОНТНОМ ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ: АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

К. И. Капырин <sup>1</sup>, А. П. Трясцин <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Мценский филиал Орловского государственного университета имени И.С. Тургенева,  
г. Мценск, Россия,

Автор, ответственный за переписку: Константин Игоревич Капырин kostik72@inbox.ru

**Аннотация.** В статье проведен анализ перспективности применения методов интенсивной пластической деформации (ИПД) для ремонтного восстановления поверхностного слоя изношенных деталей автомобиля. Предложена классификация типовых деталей по степени применимости методов ИПД для их восстановления. Показано преимущество упрочняющей обкатки с заглаживанием по технологическим и эксплуатационным характеристикам. Сделан вывод об эффективности ИПД для восстановления и упрочнения деталей, что позволяет продлить их ресурс, превосходящий по свойствам исходное состояние нового изделия.

**Ключевые слова:** интенсивная пластическая деформация, ультрамелкозернистая структура, ремонтное восстановление, автомобильные детали, поверхностное упрочнение, износ, алмазное выглаживание, обкатка с заглаживанием, проковка шариком, ультразвуковое ударное упрочнение.

## PERSPECTIVES OF USING INTENSIVE PLASTIC DEFORMATION METHODS IN CAR PARTS REPAIR: AN ANALYTICAL REVIEW

K. I. Kapyrin <sup>1</sup>, A. P. Tryascin <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Mtsensk branch of the Orel State University named after I.S. Turgenev,  
Mtsensk, Russia,

Author responsible for correspondence: Konstantin Igorevich Kapyrin kostik72@inbox.ru

**Abstract.** The article analyzes the prospects of using severe plastic deformation (SPD) methods for repairing the surface layer of worn-out car parts. It proposes a classification of typical parts based on the degree of applicability of SPD methods for their restoration. The article demonstrates the advantages of hardening rolling with smoothing in terms of technological and operational characteristics. The article concludes that SPD is an effective method for restoring and strengthening parts, which can extend their service life and improve their properties compared to the original state of a new product.

**Keywords:** severe plastic deformation, ultra-fine grain structure, repair restoration, automotive parts, surface hardening, wear, Diamond Burnishing, deep rolling-burnishing, ball forging, ultrasonic impact hardening.

### Введение

Проблема увеличения ресурса машин и механизмов, включая автомобильную технику, является одной из ключевых в современном машиностроении. Значительная часть затрат на содержание автопарка связана с ремонтом и заменой изношенных деталей. Традиционные методы восстановления (наплавка, напыление, гальваника) зачастую имеют ряд недостатков: термические деформации, недостаточная прочность сцепления покрытия с основой, высокая себестоимость и экологические риски. Поэтому проблема повышения

износостойкости деталей автомобилей являются актуальной задачей. В этом контексте методы поверхностного упрочнения, основанные на принципах интенсивной пластической деформации (ИПД), представляют собой перспективную альтернативу. В отличие от объемной ИПД, используемой для получения объемных заготовок с УМЗ-структурой, для ремонтного восстановления необходимо применять локальные методы ИПД-обработки, которые позволяют модифицировать свойства именно поверхностного слоя детали, находящегося в зоне максимальных нагрузок и износа.

**Цель работы:** провести анализ российского и зарубежного опыта применения методов ИПД и на его основе оценить перспективы их использования для ремонтного восстановления автомобильных деталей с классификацией по применимости метода.

### **Методы поверхностной ИПД**

Интенсивная пластическая деформация – это процесс, в результате которого в материале создаются сверхвысокие степени деформации сдвига, приводящие к фрагментации исходной зеренной структуры до субмикронного или нанометрового уровня. Формирование ультрамелкозернистой структуры согласно классическому соотношению Холла-Петча приводит к резкому повышению предела текучести, твердости и усталостной прочности. Основным направлением применения ИПД является получение материалов с ультрамелкозернистой структурой (УМЗ) с возможностью получения межзёренных границ с большими углами разориентации (до 70...80%) [1]. Структура межзёренных границ оказывает большое влияние на механические свойства [2].

Для целей ремонтного восстановления наиболее пригодны следующие методы поверхностного ИПД:

1. Проковка шариком (Ball Burnishing / Peening) и дробеударное упрочнение: механическое воздействие шариками или дробью на поверхность, создающее остаточные напряжения сжатия и измельчающее структуру поверхностного слоя.

2. Алмазное выравнивание (Diamond Burnishing): пластическое деформирование поверхности твердым (алмазным) индентором с высокой степенью полировки, что одновременно упрочняет и снижает шероховатость поверхности.

3. Ультразвуковое ударное упрочнение (УЗУ) и обработка поверхностным пластическим деформированием (ОППД): технологии, совмещающие вибрационное воздействие с пластическим деформированием, высокоэффективные для обработки сварных швов и сложноконтурных поверхностей.

4. Ротационная ковка (Rotary Forging) и обкатка роликом с заглаживанием (deep rolling-burnishing): методы, при которых деформирующий инструмент (ролик) прокатывается по поверхности с усилием, создавая пластическую деформацию.

Общим для всех методов при восстановлении деталей автомобилей является отсутствие нагрева, что исключает коробление и изменение фазового состава материала.

### **Современное состояние вопроса**

Современные исследования в области ИПД активно развиваются в направлении как фундаментального понимания процессов формирования УМЗ-слоев, так и их промышленного применения. Начало полномасштабных исследований вполне обоснованно связывают с именем Р.З. Валиева [3]. В его работах была показана возможность получения наноструктурных материалов объемной ИПД, однако первые публикации в данной области были сделаны ранее в работах П. Бриджмена, [4] О. Холла [5], Н. Пётча [7] и В. Сегала [7]. Со временем в данном направлении исследований в отечественных и других ведущих научных изданиях мира опубликовано такое огромное количество статей и монографий, что это вылилось в образование нового направления в материаловедении.

Применительно к поверхностным методам, исследования в Германии (например, TU Dortmund), Японии и Китае демонстрируют эффективность алмазного выравнивания и ультразвуковой обработки для повышения усталостной прочности алюминиевых

сплавов, титана и сталей. Например, подтверждено увеличение предела выносливости деталей подвески на 30-50% после обработки проковкой шариком [8]. Разрабатываются роботизированные комплексы для упрочнения сложнопрофильных деталей авиационной и автомобильной промышленности.

Российские научные школы (ЮУрГУ, МГТУ им. Н.Э. Баумана, ТПУ, ОмГТУ) имеют богатейший опыт в области ОППД. Еще в советский период были разработаны и внедрены в промышленность технологии упрочнения деталей цилиндропоршневой группы, валов, осей и шестерен. Современные российские исследования фокусируются на оптимизации режимов обработки, моделировании процессов деформации и комбинировании ИПД с другими методами. Публикации подтверждают высокую эффективность методов на основе ИПД для восстановления посадочных поверхностей под подшипники, шеек коленчатых валов, кулачков распределительных валов. Однако, коммерциализация разработок и их внедрение в широкую ремонтную практику, особенно в сфере автосервиса, отстают от зарубежных аналогов.

### **Классификация автомобильных деталей по применимости методов ИПД для восстановления**

Автомобильные детали можно классифицировать на три группы по степени применимости и перспективности восстановления методами ИПД.

Группа 1. Высокая применимость (наиболее перспективные детали).

К данному типу относятся детали, у которых основной вид износа потеря размера и геометрии при ограниченной глубине дефектного слоя (до 0,5-1,0 мм). Как правило, это детали из конструкционных сталей, чугунов и сплавов цветных металлов.

Примеры:

- валы (шейки коленчатых и распределительных валов, оси ступиц, хвостовики карданных валов);
- отверстия (посадочные места под подшипники качения в корпусных деталях и втулки подшипников скольжения);
- детали подвески (поворотные кулаки, шаровые опоры (восстановление сферы)).

Технология восстановления предполагает:

- алмазное выглаживание [9];
- ультразвуковое ударное упрочнение [10] с применением специального инструмента для обработки отверстий;
- обкатку роликом с заглаживанием.

Восстановление происходит за счет пластического вытеснения материала и уплотнения поверхности.

Группа 2. Условная применимость (требуется дополнительные исследования и применение комбинированных технологий).

К данному типу относятся детали с комбинированным износом (абразивный, усталостный), с глубокими дефектами (более 1 мм), или изготовленные из труднодеформируемых сплавов.

Примеры:

- шестерни и зубчатые венцы (восстановление профиля зуба методом ИПД проблематично из-за сложной геометрии);
- кулачки распределительных валов (требуется высокоточная обработка профиля после упрочнения);
- детали из алюминиевых сплавов (поршни, головки блока цилиндров) имеют ограниченную пластичность, склонны к трещинообразованию.

Технология восстановления деталей этой группы предполагает возможное применение ИПД как финишной операции после традиционного ремонта (наплавки,

напыления) для упрочнения и уплотнения нанесенного слоя. Либо использование специализированного деформирующего инструмента, повторяющего профиль детали.

Группа 3. Низкая применимость (неперспективные детали)

К данному типу относятся детали, работающие в условиях высоких температур (выше 0,4-0,5 от температуры плавления), где происходит рекристаллизация и разупрочнение УМЗ-структуры; тонкостенные детали, склонные к короблению и детали, вышедшие из строя по причине образования внутренних усталостных трещин (не на поверхности).

Конкретные примеры:

- лопатки турбин турбонагнетателей;
- корпуса каталитических нейтрализаторов;
- радиаторы, тонкостенные корпуса;
- детали с объемными усталостными разрушениями (например, шатуны).

### **Применение обкатки с заглаживанием для упрочнения и восстановления валов и отверстий**

Этот метод входит в группу технологий под общим названием «валковая штамповка» [11, 12, 13]. Сущность метода и технологические особенности заключаются в совмещении двух процессов: осевого сжатия и обкатки боковой поверхности деформирующими роликами. Схема осуществления представлена на рисунке 1, а.

Обрабатываемая деталь (например, вал или втулка) закрепляется в патроне станка на оправке и совершает вращательное движение. Конструкция оправки должна обеспечивать осевое сжатие с нагрузкой, близкой к напряжению пластического течения материала детали. Для обработки отверстий используется инструмент в виде оправки с роликами, которая вставляется в отверстие и расклинивается, после чего-либо оправка проворачивается, либо деталь вращается вокруг нее. При вращении детали и подаче оправки с одновременным осевым сжатием ролики обкатывают поверхность, создавая высокое удельное давление, что приводит к пластической деформации поверхностного слоя. В результате такого нагружения создается значительное гидростатическое сжатие в деформируемом локализованном объеме и высокий градиент напряжений, уплотнение микронеровностей, устранение поверхностных дефектов, а главное – формирование наклепанного слоя с ультрамелкозернистой структурой и значительными остаточными напряжениями сжатия, как на поверхности, так и внутри детали. Параметры этого слоя зависят от количества проходов и величины осевого сжатия (рисунок 1, б [14]).

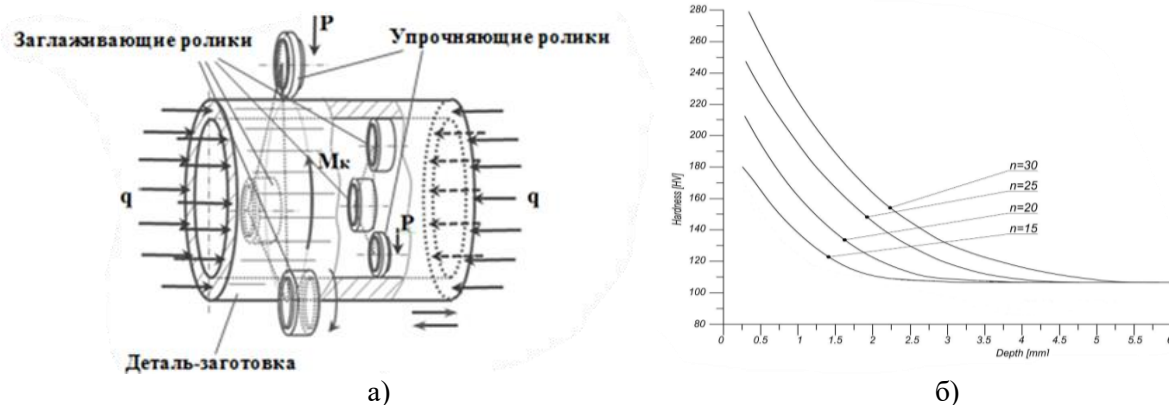


Рисунок 1 – Схема обкатки с заглаживанием (а) [11] и распределение микротвёрдости по глубине упрочнённого слоя Бр/ О5-Ц5С5 в зависимости от числа проходов (б), [14]

Figure 1 – Deep rolling-burnishing scheme (а) [11] and distribution of microhardness along the depth of the hardened layer of bronze Sn5Zn5Pb5 depending on the quantity of passes (б), [14]

Преимущества метода при восстановлении автомобильных деталей:

- высокая производительность (скорость обработки значительно выше, чем при алмазном выглаживании или проковки шариком);
- глубокая пластическая деформация (метод позволяет создавать упрочненный слой глубиной до 2-3 мм и более, что превосходит возможности многих других методов ИПД, что критически важно для восстановления деталей с существенным износом);
- исправление геометрии (эффективно исправляет макроотклонения формы – огранку, бочкообразность, конусность и т.п. до 0,2-0,3 мм на диаметр, что является уникальным свойством, позволяющим не только упрочнить, но и вернуть правильную геометрию валу или отверстию);
- высокое качество поверхности (одновременно с упрочнением достигается низкая шероховатость до Ra0,1-0,4 мкм, что сопоставима с шлифованием или полированием;
- универсальность (подходит для обработки как наружных (валы), так и внутренних (отверстия) поверхностей значительной длины).

Области применения в автомобильном ремонте. Метод подходит для восстановительного ремонта следующих деталей и поверхностей:

- восстановление коленчатых валов (раскатка галтелей шатунных и коренных шеек для повышения усталостной прочности и восстановления посадочных размеров);
- восстановление распределительных валов (упрочнение и выравнивание опорных шеек);
- оси ступиц, полуоси, карданные валы (восстановление посадочных поверхностей под подшипники и сальники);
- цилиндры и гильзы блока двигателя (упрочнение внутренней поверхности и создания износостойкого сетчатого микрорельефа, удерживающего масло);
- отверстия в корпусах (подшипников) и обработки втулок (восстановление размера и геометрии после износа).

Сравнительный анализ процесса упрочняющей обкатки с заглаживанием с другими методами ИПД, рассмотренными в статье, представлен в таблице 1. Анализ показывает следующее.

1) Упрочняющая обкатка с заглаживанием является лидером по сочетанию глубины упрочнения, производительности и способности исправлять макрогеометрию. Это делает ее незаменимой для ответственных деталей со значительным износом, где требуется не просто упрочнение, но и восстановление размера и формы (например, коленчатые валы).

2) Алмазное выглаживание превосходит по достижению минимальной шероховатости и идеально для финишной обработки и упрочнения деталей, где важна точная геометрия и низкое трение (посадочные поверхности валов).

3) Ультразвуковое ударное упрочнение не имеет аналогов для обработки невращающихся, сложнопрофильных деталей и зон концентраторов напряжений (сварные швы в элементах рамы, галтели и др.).

4) Дробеударная обработка остается наиболее эффективной для поверхностного упрочнения деталей сложной формы и создания остаточных напряжений сжатия в крупногабаритных конструкциях (например, элементы подвески).

Таким образом, упрочняющая обкатка с заглаживанием занимает свою нишу в арсенале методов ИПД, будучи оптимальным выбором для высокопроизводительного восстановления и упрочнения тел вращения в условиях как специализированных ремонтных заводов, так и крупных автосервисов.

### Оборудование и инструмент для реализации методов ИПД

Успешное внедрение технологий ИПД в процесс ремонтного восстановления напрямую зависит от наличия доступного и эффективного оборудования. Условно его можно разделить на несколько категорий: универсальные станки с дооснащением и специализированные установки и ручной инструмент для внестаночного применения.

Таблица 1 – Сравнительный анализ методов ИПД

Table 1 – Comparative analysis of SPD-methods

Параметр	Упрочняющая обкатка с заглаживанием	Алмазное выглаживание	Ультразвуковое ударное упрочнение	Дробеударная обработка (проковка шариком)
Глубина упрочненного слоя	Высокая (1-3 мм и более)	Низкая (0,1-0,5 мм)	Средняя (0,5-1,5 мм)	Низкая (0,1-0,8 мм)
Величина упрочнения				
Производительность	Очень высокая (непрерывный процесс)	Высокая (зависит от подачи)	Низкая / Средняя (точечное воздействие)	Средняя (зависит от площади)
Глубина упрочненного слоя	Высокая (1-3 мм и более)	Низкая (0,1-0,5 мм)	Средняя (0,5-1,5 мм)	Низкая (0,1-0,8 мм)
Производительность	Очень высокая (непрерывный процесс)	Высокая (зависит от подачи)	Низкая / Средняя (точечное воздействие)	Средняя (зависит от площади)
Возможность исправления геометрии	Да, высокая (исправление формы)	Ограниченная (сглаживание микронеровностей)	Нет	Нет
Качество поверхности (шероховатость)	Очень высокое (Ra 0,1-0,4)	Очень высокое (Ra 0,05-0,2)	Среднее (зависит от индентора)	Низкое (поверхность становится матовой)
Универсальность (наружные/внутренние поверхности)	Высокая (и валы, и отверстия)	Высокая (и валы, и отверстия)	Высокая (сложные поверхности)	Высокая (любые поверхности)
Сложность оборудования	Высокая (специальные станки, оправки или головки)	Низкая / Средняя (привод для станка ЧПУ)	Средняя (источник УЗ, манипулятор)	Низкая (дробометная камера или пистолет)
Типичные детали для авторемонта	Коленвалы, распредвалы, карданные валы, гильзы цилиндров.	Шейки валов, посадочные места, точные отверстия.	Зоны концентрации напряжений (галтели, сварные швы).	Листовые детали кузова, рессоры, пружины.

Универсальное станочное оборудование с ЧПУ обладает гибкими возможностями дооснащения следующими видами инструментальной оснастки [15]:

- головки для алмазного выравнивания и обработки шариками;
- оправки для обкатки роликом с заглаживанием.

Представляют собой гидравлические, пневматические, механические и электромеханические головки и оправки, устанавливаемые в резцедержатель станка. Обеспечивают точное и стабильное воздействие деформирующего элемента (алмазного наконечника, ролика или шарика) на обрабатываемую поверхность.

Производителями такого оборудования являются:

- Sensor-tool (Россия). Специализируется на производстве компактных алмазных выравнивателей, легко интегрируемых в любой станок с ЧПУ;
- Heck Industries (США). Производит серию приводов «Diamond Force» для выравнивания и шариковой проковки, известных своей надежностью;

Аналогичные системы разрабатываются в научно-технических центрах при вузах (например, МГТУ им. Н.Э. Баумана, ОмГТУ, ОГУ им. И.С. Тургенева), однако их серийное производство носит штучный характер для проведения исследований.

Специализированное и роботизированное оборудование предназначено для крупных ремонтных заводов или конвейерного восстановления целесообразно применение специализированных станков для ультразвукового ударного упрочнения. Эти установки генерируют высокочастотные колебания, передаваемые на инструмент (иглу). Часто выполняются в виде портативных устройств или стационарных комплексов с ЧПУ.

Производителями такого оборудования являются:

- SONATS (Франция) выпускает автоматизированные роботизированные комплексы ультразвуковой ударной обработки (UIT/USP) для аэрокосмической и энергетической отрасли. Предлагается также и ручной инструмент.
- УЗТО (Ультразвуковые технологии и оборудование, Россия) предлагает оборудование для ультразвуковой обработки, включая установки для упрочнения сварных швов и поверхностей.

Роботизированные комплексы представляют собой робот-манипулятор по сложной траектории обрабатывающий деталь деформирующим инструментом. Это идеально подходит для крупногабаритных и сложнопрофильных деталей (например, элементов рам или кузовов).

Ключевыми производителями здесь являются такие бренды, как KUKA (Германия) или FANUC (Япония), оснащая их специализированными головками для ИПД.

Ручной инструмент для внестаночного применения предназначается для ремонта без демонтажа (например, обработки шеек коленвала непосредственно в блоке двигателя). К такому инструменту относятся:

- ручные гидравлические или механические оправки для алмазного выравнивания (для обработки отверстий и валов с фиксацией на детали или станине);
- ручные пневмомолотки для ударного упрочнения (аналогичны инструменту для УЗУ, но с иным принципом генерации ударов), часто используются для обработки сварных швов и зон концентраторов напряжений.

Ручной инструмент такого типа предлагают компании Desoutter (Великобритания), Atlas Copco (Швеция). Специализированный инструмент для ИПД часто создается малыми предприятиями, ориентированными на конкретные нишевые задачи.

Анализ рынка и тенденции:

1) Зарубежный рынок характеризуется высокой степенью автоматизации, наличием серийных производителей специализированного оборудования и активным внедрением роботизированных комплексов.



2) Российский рынок испытывает дефицит в серийном отечественном оборудовании для ИПД. Преобладают штучные решения от научных институтов и мелкосерийные производства. Это создает нишу для импортозамещения и развития отечественного станкостроения в данной области.

Общая тенденция – это движение к созданию гибридных обрабатывающих центров, совмещающих традиционные методы (точение, фрезерование) и операции поверхностного упрочнения (ИПД) в одной операции.

### **Заключение**

Проведенный анализ показывает, что технологии, основанные на принципах интенсивной пластической деформации, обладают значительным потенциалом для ремонтного восстановления автомобильных деталей. Наличие на рынке широкого спектра оборудования – от простых приводов для станков с ЧПУ до роботизированных комплексов – позволяет внедрять эти методы, как в малых автосервисах, так и на крупных ремонтных заводах.

Ключевыми преимуществами являются:

1) Повышение эксплуатационных характеристик восстановленной поверхности по сравнению с исходным состоянием.

2) Возможность автоматизации и выполнения операций без демонтажа детали (например, обработка шеек коленвала непосредственно в блоке двигателя).

3) Экологическая безопасность (отсутствие вредных выбросов).

Наибольший экономический эффект может быть достигнут при восстановлении деталей первой группы – валов и отверстий из черных металлов. Для широкого внедрения методов ИПД в авторемонтную отрасль необходима разработка специализированного, доступного по цене оборудования (например, на базе станков с ЧПУ или роботизированных комплексов) и создание соответствующих регламентирующих технологических карт.

Ключевыми барьерами для широкого распространения в России являются недостаточная информированность ремонтного сообщества о преимуществах ИПД и дефицит доступного серийного отечественного оборудования. Преодоление этих барьеров требует как популяризации технологий, так и государственной поддержки разработок в области специализированного станкостроения для методов поверхностного упрочнения методами ИПД.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на оптимизацию режимов обработки для конкретных пар материалов шейка вала-вкладыш (цапфа, подшипник), а также на изучение долговечности восстановленных с помощью ИПД деталей в условиях реальной эксплуатации.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Valiev, R. Z. Producing bulk ultrafine-grained materials by severe plastic deformation: ten years later / R. Z. Valiev, Y. Estrin, Z. Horita, T. G. Langdon, M. J. Zehetbauer, Y. Zhu // JOM: The Journal of the Minerals, Metals & Materials Society. – 2016. – Vol. 68, No. 4. – P. 1216–1226.
2. Sauvage, X. Grain boundaries in ultrafine grained materials processed by severe plastic deformation and related phenomena / X. Sauvage, G. Wilde, S. Divinsky, Z. Horita, R. Z. Valiev // Materials Science & Engineering A. – 2012. – Vol. 540. – P. 1–12.
3. Valiev, R. Z. Plastic deformation of alloys with submicron-grained structure / R. Z. Valiev, N. A. Krasilnikov, N. K. Tsenev // Materials Science and Engineering: A. – 1991. – Vol. 137. – P. 35–40.
4. Bridgman, P. W. Effects of High Shearing Stress Combined with High Hydrostatic Pressure / P. W. Bridgman // Physical Review. – 1935. – Vol. 48. – P. 825–847.
5. Hall, E. O. The deformation and ageing of mild steel: III Discussion of results / E. O. Hall //

- Proceedings of the Physical Society. Section B. – 1951. – Vol. 64, No. 381. – P. 747–753.
6. Petch, N. J. The cleavage strength of polycrystals / N. J. Petch // The Journal of the Iron and Steel Institute. – 1953. – Vol. 174. – P. 25–28.
  7. Сегал, В. М. Процессы пластического структурообразования металлов / В. М. Сегал, В. И. Резников, В. И. Копылов. – Минск : Наука и техника, 1994. – 231 с.
  8. Папшев, Д. Д. Упрочнение деталей обкаткой шариками / Д. Д. Папшев. – Москва : Машиностроение, 1968. – 132 с.
  9. Бафаев, Д. Х. Алмазное выглаживание поверхностного слоя деталей машин и выбор оптимального режима выглаживания / Д. Х. Бафаев // Молодой ученый. – 2016. – № 5 (109). – С. 16–18.
  10. Amanov, A. Effects of ultrasonic nanocrystalline surface modification (UNSM) technique on the tribological behavior of sintered Cu-based alloy / A. Amanov, Y.-S. Pyun, S. Sasaki // Tribology International. – 2014. – Vol. 72. – P. 187–197.
  11. Капырин, К. И. Валковая штамповка как метод интенсивной пластической деформации / К. И. Капырин, А. А. Катунин, А. П. Трясцин // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2024. – Т. 9, № 12. – С. 125–141.
  12. Голенков, В. А. Специальные технологические процессы и оборудование обработки давлением / В. А. Голенков, В. Д. Дмитриев, С. Ю. Кухарь, С. П. Радченко, С. С. Яковлев. – Москва : Машиностроение, 2004. – 464 с.
  13. Голенков, В. А. Теория и технология валковой штамповки / В. А. Голенков, С. Ю. Радченко, Д. О. Дорохов. – Москва : Издательский дом «Оружие и технологии», 2019. – 323 с.
  14. Gryadunov, I. M. Deep Hardening of Inner Cylindrical Surface by Periodic Deep Rolling-Burnishing Process / I. M. Gryadunov, S. Yu. Radchenko, D. O. Dorokhov, P. G. Morrev // Modern Applied Science. – 2015. – Vol. 9, No. 13. – P. 251–258.
  15. Головин, С. В. Современное оборудование для поверхностного пластического деформирования / С. В. Головин // СТИН. – 2020. – № 5. – С. 44–48.

## REFERENCES

1. Valiev, R. Z. Producing bulk ultrafine-grained materials by severe plastic deformation: ten years later / R. Z. Valiev, Y. Estrin, Z. Horita, T. G. Langdone, M. J. Zehetbauer, Y. Zhu // JOM: The Journal of the Minerals, Metals & Materials Society. – 2016. – Vol. 68, No. 4. – P. 1216–1226.
2. Sauvage, X. Grain boundaries in ultrafine grained materials processed by severe plastic deformation and related phenomena / X. Sauvage, G. Wilde, S. Divinsky, Z. Horita, R. Z. Valiev // Materials Science & Engineering A. – 2012. – Vol. 540. – P. 1–12.
3. Valiev, R. Z. Plastic deformation of alloys with submicron-grained structure / R. Z. Valiev, N. A. Krasilnikov, N. K. Tsenev // Materials Science and Engineering: A. – 1991. – Vol. 137. – P. 35–40.
4. Bridgman, P. W. Effects of High Shearing Stress Combined with High Hydrostatic Pressure / P. W. Bridgman // Physical Review. – 1935. – Vol. 48. – P. 825–847.
5. Hall, E. O. The deformation and ageing of mild steel: III Discussion of results / E. O. Hall // Proceedings of the Physical Society. Section B. – 1951. – Vol. 64, No. 381. – P. 747–753.
6. Petch, N. J. The cleavage strength of polycrystals / N. J. Petch // The Journal of the Iron and Steel Institute. – 1953. – Vol. 174. – P. 25–28.
7. Segal, V. M. Processes of plastic structure formation of metals / V. M. Segal, V. I. Reznikov, V. I. Kopylov. Minsk : Nauka i tekhnologiya Publ., 1994. 231 p.
8. Papshev, D. D. Hardening of parts by rolling balls / D. D. Papshev. Moscow : Mashinostroenie Publ., 1968. 132 p.
9. Bafaev, D. H. Diamond smoothing of the surface layer of machine parts and the choice of the optimal smoothing mode / D. H. Bafaev // Young scientist. – 2016. – № 5 (109). – Pp. 16–18.
10. Amanov, A. Effects of ultrasonic nanocrystalline surface modification (UNSM) technique on the tribological behavior of sintered Cu-based alloy / A. Amanov, Y.-S. Pyun, S. Sasaki // Tribology International. – 2014. – Vol. 72. – P. 187–197.

11. Kapyrin, K. I. Roller stamping as a method of intensive plastic deformation / K. I. Kapyrin, A. A. Katunin, A. P. Tryashtsin // Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov. – 2024. – Vol. 9, No. 12. – pp. 125-141.
12. Golenkov, V. A. Special technological processes and pressure treatment equipment / V. A. Golenkov, V. D. Dmitriev, S. Yu. Kukhar, S. P. Radchenko, S. S. Yakovlev. Moscow : Mashinostroenie Publ., 2004. 464 p.
13. Golenkov, V. A. Theory and technology of roller stamping / V. A. Golenkov, S. Y. Radchenko, D. O. Dorokhov. – Moscow : Publishing house "Weapons and Technologies", 2019. – 323 p.
14. Gryadunov, I. M. Deep Hardening of the Inner Cylindrical Surface by Periodic Deep Rolling-Burning Process / I. M. Gryadunov, S. Yu. Radchenko, D. O. Dorokhov, P. G. Mor-rev // Modern Applied Science. – 2015. – Vol. 9, No. 13. – P. 251-258.
15. Golovin, S. V. Modern equipment for surface plastic deformation / S. V. Golovin // STIN. – 2020. – no.

## Секция 8. Современные неразрушающие методы диагностики агрегатов и систем автомобилей

УДК 621.431

DOI: 10.58168/MSTT2025\_255-259

### ВЫБОР И АНАЛИЗ ДАТЧИКОВ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ДВС

Д.Г. Тертерашивили<sup>1</sup>, С.В. Дорохин<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,  
г. Воронеж, Россия

<sup>1</sup> terterashvili26@gmail.com

<sup>2</sup> dsvvrn@yandex.ru

**Аннотация.** Целью исследования является анализ и выбор датчиков для интеллектуальной системы дистанционного диагностирования системы охлаждения ДВС. В работе предложена их классификация по функциональному назначению и определены ключевые критерии выбора, обеспечивающие эффективную интеграцию в единую систему мониторинга. Проведен обзор современных сенсорных решений для комплексной диагностики.

**Ключевые слова:** ДВС, система охлаждения, датчики, сенсоры, дистанционное диагностирование, вибрация, давление, температура, охлаждающая жидкость, интеллектуальные системы.

### SELECTION AND ANALYSIS OF SENSORS FOR AN INTELLIGENT DIAGNOSTIC SYSTEM FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINE COOLING SYSTEMS

D.G. Terterashvili<sup>1</sup>, S.V. Dorokhin<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,  
Voronezh, Russia

<sup>1</sup> terterashvili26@gmail.com

<sup>2</sup> dsvvrn@yandex.ru

**Abstract.** The purpose of the study is to analyze and select sensors for an intelligent remote diagnostic system for internal combustion engine cooling systems. The paper proposes a classification of sensors according to their functional purpose and defines key selection criteria that ensure effective integration into a unified monitoring system. A review of modern sensor solutions for comprehensive diagnostics is provided.

**Keywords:** ICE, cooling system, sensors, remote diagnostics, vibration, pressure, temperature, coolant, intelligent systems

Современные двигатели внутреннего сгорания (ДВС) характеризуются высокой термической нагруженностью, а эффективность системы охлаждения определяет ресурс и стабильность двигателя. Нарушения в системе охлаждения приводят к перегреву и отказу двигателя. Традиционные системы контроля параметров охлаждения не обеспечивают комплексного мониторинга состояния системы в целом, так как имеющиеся датчики и исполнительные механизмы предназначены в большей степени

для поддержания оптимальной температуры ДВС, быстрого набора рабочей температуры и недопущения его перегрева, а также отвода тепла от блока цилиндров, головки блока цилиндров и навесного оборудования (турбина, EGR, маслоохладитель и т.д.). В современных условиях интеллектуальных транспортных систем возрастает потребность в создании системы дистанционного диагностирования, которая способна выявить отклонения параметров или спрогнозировать возможные неисправности [1,2].

Система охлаждения современного двигателя состоит из множества датчиков, исполнительных механизмов и деталей, без которых система охлаждения не сможет нормально функционировать. Основные элементы системы охлаждения представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Элементы системы охлаждения ДВС

Table 1 – Elements of the internal combustion engine cooling system

Элемент	Назначение	Особенности исполнения
Радиатор охлаждения	Отвод тепла от жидкости в атмосферу	Может быть алюминиевым, двухконтурным, оснащён вентиляторами с ШИМ-регулировкой
Охлаждающая жидкость (ОЖ)	Передача тепла от нагреваемых частей двигателя к радиатору	Содержит присадки для предотвращения коррозии и кавитации, повышенной температурой кипения и низкой температурой кристаллизации
Водяной насос (помпа)	Обеспечивает циркуляцию ОЖ	Может быть механическим (привод от ремня) или электрическим (управление ЭБУ)
Термостат	Регулировка потока жидкости между малым и большим контуром	В современных авто часто электронноуправляемый
Расширительный бачок	Компенсация изменения объема ОЖ при изменении температуры	Может содержать встроенный датчик уровня и датчик контроля качества
Крышка расширительного бачка/радиатора	Поддержание нормального и сброс избыточного давления в системе и	Может иметь встроенный предохранительный клапан
Вентилятор охлаждения	Принудительное охлаждение радиатора	Электрический, с управлением по сигналу ЭБУ (PWM/реле)
Радиатор отопителя	Передача тепла от двигателя в салон	В современных системах включён в малый контур и управляется клапанами
Соединительные патрубки и шланги	Транспортировка ОЖ между узлами	Часто из термостойкой резины или армированного пластика
Электронный блок управления (ЭБУ) в охлаждающей системе	Управление вентилятора охлаждения, электрическим водяным насосом и электрическим термостатом, при их наличии	Позволяет адаптивное управление температурой в зависимости от нагрузки

Датчики температуры	Измерение температуры ОЖ на разных участках для регулировки топливовоздушной смеси и управлением системы охлаждения ЭБУ	Передают данные ЭБУ для регулирования работы термостата и вентилятора
Датчик уровня ОЖ	Контроль количества ОЖ в системе	Как правило, выполнен как резистивный элемент
Датчик качества ОЖ	Контроль качества ОЖ в системе	Оценка производится по электрической проводимости ОЖ
Вспомогательное навесное оборудования	Отвод тепла от масла, турбины, выхлопных газов и т.д.	Интегрируются в общую систему охлаждения

Особенностью современных систем охлаждения является то, что они оснащаются дополнительными функциями. К таким относятся автоматическое управление температурой для снижения расхода топлива (уменьшение гидравлических потерь при частичных нагрузках); интеграция с системами Start-stop и гибридными контурами; возможность дистанционного мониторинга параметров через CAN-шину [4].

Из таблицы 1 можно отметить, что данная структура имеет ограниченное количество датчиков, необходимых для управления системой охлаждения двигателя, а диагностические сенсоры, такие как датчики уровня ОЖ и качества позволяют получить лишь исчерпывающие показания, которые не отражают текущее состояние системы охлаждения в целом.

В связи с чем, можно выделить дополнительные датчики и сенсоры, которые можно интегрировать в систему охлаждения для точного мониторинга данной структуры и выявления неисправности еще на ранней стадии, что в долгосрочной перспективе во многом снижает материальные и временные траты.

В дополнение к уже имеющимся датчикам, предлагаемая структура может содержать следующие элементы:

1. Датчики температуры на входе и выходе охлаждающего контура для оценки состояния термостата и радиатора независимо от штатных сенсоров;
2. Датчик давления для оценки общего давления в системе, производительности водяного насоса, наличия утечек в системе и состояния крышки расширительного бачка;
3. Датчик вибрации для мониторинга состояния подшипников в водяном насосе;
4. Датчик тока для оценки состояния электродвигателя вентилятора и водяного насоса;
5. Инфракрасный датчик для проверки эффективности отвода тепла от радиатора в атмосферу на наличие забитых сот;
6. Расходомер охлаждающей жидкости для мониторинга состояния водяного насоса, а именно производительности его крыльчатки;
7. Электронный блок для обработки всех показаний;
8. Телекоммуникационный блок для передачи данных на удаленный сервер [4,5].

Эффективность работы интеллектуальной системы дистанционного диагностирования системы охлаждения ДВС напрямую зависит от правильного выбора датчиков, которые смогут обеспечить точное и стабильное измерение параметров в условиях эксплуатации транспортного средства.

При выборе элементов необходимо учитывать технические, эксплуатационные и экономические критерии, по которым определяется надежность и совместимость устройств с системой.

Датчики должны обеспечивать контроль параметров в пределах, соответствующих режимам системы охлаждения – температура от -40 до +125 °С; давление от 0 до 3 бар; ток до 15А, вибрация 50-2000 Гц.

Чтобы самодиагностика была точной и актуальной, датчики должны обладать определенной степенью погрешности измерений, которыми можно будет пренебречь. К таким можно отнести:

1. Погрешность измерений температуры  $\pm 1\%$ ;
2. Погрешность измерений давления  $\pm 1\%$ ;
3. Погрешность измерений на вибрацию  $\pm 5\%$ .

Также немаловажный параметр в данной структуре является быстродействие срабатывания датчиков и сенсоров, поэтому допустимые значения должны превышать более 1 секунды.

Также датчики и сенсоры предлагаемой системы должны обладать современными распространенными протоколами обмена данных для того, чтобы их в дальнейшем можно было интегрировать в общую автомобильную систему.

Еще одним из важных критерий, которые можно выделить – это эксплуатационные. К ним можно отнести следующее:

1. Устойчивость к внешним воздействиям – все сенсоры должны сохранять точность при воздействии вибрации (до 20 g), влаги, пыли и агрессивных сред. Минимальный класс защиты корпуса – IP67 (по ГОСТ 14254-2015).

2. Температурная стабильность – минимальная температурная дрейфовая ошибка (не более 0,02%/°C)

3. Габариты и масса – компактность и малый вес облегчают установку и минимизируют влияние на конструкцию системы охлаждения.

4. Энергопотребление – для автономных модулей с беспроводной передачей данных не более 0,5 Вт [3,4].

Таким образом, выбор датчиков необходимо основывать на сочетании технических характеристик, эксплуатационной надежности и экономической целесообразности. Комплексный подход обеспечит возможность дальнейшего масштабирования решения для различных типов транспортных средств.

В рамках проведенного исследования выполнен анализ современных решений и предложена структура интеллектуальной системы дистанционного диагностирования системы охлаждения ДВС. Определён состав и функциональное назначение датчиков, обеспечивающих многофакторный контроль физических и электрических параметров: температуры, давления, уровня, качества охлаждающей жидкости, вибраций и электрических токов исполнительных устройств.

Интеграция датчиков в единую систему с модулем сбора, анализа и передачи данных обеспечивает возможность не только фиксировать текущие значения параметров, но и формировать диагностические признаки, отражающие техническое состояние отдельных элементов системы охлаждения. Это создаёт предпосылки для реализации алгоритмов интеллектуального анализа и прогнозирования возможных неполадок.

Предложенная система отличается универсальностью и может быть адаптирована к различным типам двигателей и ТС, что делает ее перспективной для внедрения в состав интеллектуальных транспортных платформ нового поколения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вахламов, В.К. Автомобили: теория и конструкция автомобиля и двигателя: учебник/ В.К. Вахламов, М.Г. Шатров, А.А. Юрчевский. – 5-е изд., стер. – М.: Изд. центр «Академия», 2010. – 816 с.

2. Иванов, А. М. Автомобили: конструкция и рабочие процессы: учебник/ [А.М. Иванов [и др.]] ; под ред. В.И. Осипова .— Москва : Академия, 2012 .— 377 с
3. Патент № 2698556 С2 РФ, МПК F01P 11/16, F01P 11/18, F01P 11/20. Способ диагностики системы хладагента двигателя (варианты) : № 2017111284 : заявл. 04.04.2017 : опубл. 28.08.2019 / С. Реджети, Р. Р. Джентц, А. М. Дудар [и др.] ; заявитель Форд Глобал Текнолоджиз, ЛЛК.
4. Плахов, С. А. Совершенствование системы охлаждения двигателей автомобилей семейства «ВАЗ» / С. А. Плахов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. — 2016. — № 7-5. — С. 65-68.
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020619751 РФ. Встроенное программное обеспечение системы жидкостного охлаждения: № 2020618693 : заявл. 03.08.2020 : опубл. 24.08.2020 / С. В. Паулин, А. Е. Белов ; заявитель Публичное акционерное общество «Радиофизика» (ПАО «Радиофизика»)

## REFERENCES

1. Vakhlamov, V.K. Automobiles: Theory and Design of Automobile and Engine: Textbook / V.K. Vakhlamov, M.G. Shatrov, A.A. Yurchevsky. - 5th ed., reprinted - Moscow: Publishing Center «Academy», 2010. - 816 p.
2. Ivanov, A.M. Automobiles: Design and Operating Processes: Textbook / [A.M. Ivanov [et al.]]; edited by V.I. Osipov. - Moscow: Academy, 2012 .- 377 p.
3. Patent No. 2698556 C2 RF, IPC F01P 11/16, F01P 11/18, F01P 11/20. Method for diagnosing the engine coolant system (variants): No. 2017111284: declared 04.04.2017: published 28.08.2019 / S. Rejeti, R. R. Jentz, A. M. Dudar [et al.]; applicant Ford Global Technologies, LLC.
4. Plakhov, S. A. Improving the cooling system of VAZ family cars / S. A. Plakhov // Actual problems of humanitarian and natural sciences. - 2016. - No. 7-5. - P. 65-68.
5. Certificate of state registration of computer program No. 2020619751 of the Russian Federation. Embedded software of the liquid cooling system: No. 2020618693: declared. 03.08.2020 : published 24.08.2020 / S. V. Paulin, A. E. Belov; applicant Public Joint-Stock Company «Radiophysics» (PJSC «Radiophysics»)



## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО МАСЛА НА ОСНОВЕ ЕГО ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Е.Р. Вернигора<sup>1</sup>, В.А. Иванников<sup>2</sup>, С.Н. Крухмалев<sup>3</sup>, А.Е. Матяшов<sup>4</sup>, Г.В. Середин<sup>5</sup>  
<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,  
г. Воронеж, Россия  
<sup>1</sup>vernigora.egor@inbox.ru

**Аннотация.** Гидравлические масла играют ключевую роль в функционировании гидравлических систем, передавая энергию и обеспечивая смазку и охлаждение движущихся частей и компонентов. Как и другие жидкости, они подвержены различным видам износа и деградации, что может вызвать необходимость замены масла или ремонта техники. Для оценки технического состояния гидравлических масел широко применяется термографический анализ, который позволяет быстро и достаточно точно определять состояние характеристик масла.

**Ключевые слова.** Гидропривод, гидравлическое масло, механические примеси, окисление, температура, тепловая диагностика.

## DEVELOPMENT OF A METHOD FOR ASSESSING THE CONDITION OF HYDRAULIC OIL BASED ON ITS THERMOPHYSICAL PROPERTIES

E.R. Vernigora<sup>1</sup>, V.A. Ivannikov<sup>2</sup>, S.N. Krukhmalev<sup>3</sup>, A.E. Matyashov<sup>4</sup>, and G.V. Seredin<sup>5</sup>  
<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,  
Voronezh, Russia  
<sup>1</sup>vernigora.egor@inbox.ru

**Annotation.** Hydraulic oils play a key role in the functioning of hydraulic systems, transferring energy and providing lubrication and cooling for moving parts and components. Like other fluids, they are subject to various types of wear and degradation, which can lead to the need for oil replacement or equipment repair. Thermographic analysis is widely used to assess the technical condition of hydraulic oils, allowing for quick and accurate determination of the oil's performance.

**Keywords:** Hydraulic drive, hydraulic oil, mechanical impurities, oxidation, temperature, and thermal diagnostics.

В настоящее время работа оборудования лесохозяйственных и лесозаготовительных машин обеспечивается гидроприводом. Эксплуатационные характеристики таких приводов во многом определяются состоянием гидравлических масел. В процессе работы гидропривода образуются продукты износа, попадающие в масло. С ростом рабочей температуры гидравлического масла и продолжительности его службы увеличивается степень окисления компонентов масла. В процессе окисления масла образуются большое количество лаков и шламов, которые оседают на стенках гидросистемы, ухудшая теплообмен. Эти факторы с ростом временем работы масла в гидроприводе существенно ухудшают его показатели, что приводит к нарушению рабочих процессов и выходу из строя элементов гидросистемы.

Традиционными способами борьбы с такими негативными явлениями являются организация фильтрации масел и их периодическая замена. Качественная фильтрация

гидравлического масла в приводе не решает всех проблем, так как устраняет только механические примеси, но не влияет на химические процессы, происходящие в масле. Кроме того, фильтрация усложняет и удорожает гидропривод и его техническое обслуживание, увеличивает потери энергии, снижая КПД гидропривода. Замена масла отработавшего масла новым производится в соответствии с регламентом завода-изготовителя. При этом определение фактического состояния гидравлического масла не производится. Отсюда возникает проблема досрочного достижения предельного состояния гидравлического масла по эксплуатационным показателям и как следствие ускоренный износ элементов гидропривода, что характерно для сложных и нагруженных режимов работы техники. Однако в случае облегченных условий работы техники возможна ситуация с неполной реализацией остаточного ресурса гидравлического масла, что при досрочной замене влечет экономические убытки. Таким образом, целью исследования является разработка методики оперативного контроля состояния гидравлического масла и критериев предельного состояния по косвенным диагностическим признакам.

Присутствие механических примесей в масле увеличивает его теплопроводность по сравнению с чистым маслом. Дополнительный фактор, влияющий на теплообменные характеристики, — это окисление масла, происходящее со временем. В ответ на это была предложена методика тепловой диагностики для оперативного контроля состояния гидравлического масла и эффективности работы гидросистемы.

Тепловая диагностика в гидросистемах лесозаготовительной техники осуществляется путем мониторинга термических показателей гидравлического масла на расстоянии. Этот метод позволяет выявлять аномалии, свидетельствующие о нарушениях в работе системы. [8]

Применение методов тепловой диагностики способствуют оценки состояние масла, обнаруживая степени окисления и загрязнения. Эта техника основывается на вариациях теплопроводности, зависящих от эксплуатационного периода гидравлического масла

#### **Методика исследований.**

Для проведения исследований был использован испытательный стенд КИ-4200 (рис. 1), используемый для диагностики гидроприводов. В ходе испытаний шестеренный насос НШ 46, функционировавший как гидронасос, работал на гидравлическом масле марки МГ-15-В. Стенд позволил смоделировать сложные условия, характерные для работы лесозаготовительной техники в летний период, такие как работа на лесозаготовке. [9]



Рисунок 1 – Стенд КИ-4200 для испытания гидроприводов  
Figure 1 – Test stand for hydraulic actuators

Для испытаний выбрано семь образцов масла МГ-15-В с различным временем эксплуатации, варьирующимся от 0 до 4500 часов. Эксперименты были осуществлены на

испытательном стенде в условиях максимальных нагрузок, характерных для летней эксплуатации лесозаготовительной техники, когда температура масла в системе заметно повышается. В конструкцию стенда включены металлические катализаторы, моделирующие компоненты гидросистемы. Длительность тестирования каждого образца составляла 12 часов.

Основным показателем в исследовании, оценивающим уровень загрязнения масла, выступала его теплопроводность. В качестве базовой точки сравнения использовались свойства свежего масла, которое характеризуется значениями теплопроводности в пределах 0.115–0.135 Вт/(м·К) в температурном интервале от 20°C до 100°C. С увеличением времени эксплуатации масла отмечалось снижение его теплопроводности, что фиксировалось с помощью интегрированных в гидравлическую систему температурных датчиков.



Рисунок 2 – Датчик температуры  
Figure 2 – Temperature sensor

Полученные данные о теплопроводности гидравлического масла при проведении эксперимента на различных пробах представлены на графике рис.3.

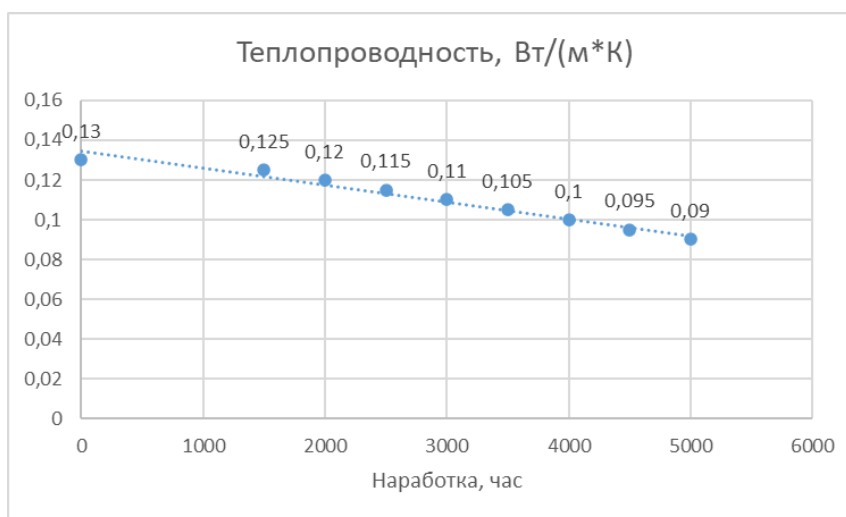


Рисунок 3-График зависимости теплопроводности гидравлического масла от его наработки  
Figure 3-Graph of the dependence of the thermal conductivity of hydraulic oil on its operating time

Измеренные параметры температуры масла в гидравлическом оборудовании транслируются в устройство для сбора данных, после чего информация о температурном режиме в системе отправляется на мобильное устройство с установленным приложением для анализа теплопроводности [6]. Приложение использует метод Парохора [4] для

вычисления коэффициента теплопроводности; если полученное значение оказывается ниже нормы, пользователь получает уведомление о необходимости замены масла и диагностики гидросистемы.

### Расчет теплопроводности по методу Парахора

Этап 1: Расчет базовых параметров

1. Параметры масла (справочные):

- Плотность при 15°C ( $\rho_0$ ): 880 кг/м<sup>3</sup>
- Коэффициент теплового расширения ( $\alpha$ ): 0.00070 1/°C
- Молярная масса (усредненная):  $M = 400$  г/моль
- Температура вспышки: 190°C
- $\lambda_{\text{эксп}} = 0,130 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ , при  $T = 40^\circ\text{C}$  (313 K)
- Масло: МГ-15-В (минеральное)

2. Расчет критической температуры:

$$T_{\text{всп}} = 190 + 273 = 463 \text{ K}$$

$$T_{\text{кип}} \approx T_{\text{всп}} + 100 = 563 \text{ K}$$

$$T_c \approx 1.41 * T_{\text{кип}} = 1.41 * 563 \approx 794 \text{ K}$$

3. Расчет плотности при 40°C:

$$\rho_{(40)} = \frac{880}{1 + 0,0007 * (40 - 15)} = \frac{880}{1,0175} \approx 865 \text{ кг/м}^3$$

Этап 2: Применение корреляции Сато-Ридела

Формула:

$$\lambda = \frac{1,11}{M^{\frac{1}{2}}} * (3 + 20 * (1 - T_r^{\frac{2}{3}}))$$

Для  $T = 40^\circ\text{C}$  (313 K):

$$T_r = T/T_c = 313/794 \approx 0,394$$

$$M^{\frac{1}{2}} = 400^{\frac{1}{2}} = 20$$

$$1,11/20 = 0,0555$$

$$(1 - T_r) = 1 - 0,394 = 0,606$$

$$0,606^{\frac{2}{3}} \approx 0,721$$

$$20 * 0,721 = 14,42$$

$$3 + 14,42 = 17,42$$

$$\lambda_{\text{расч}} = 0,0555 * 17,42 \approx 0,967 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$$

Этап 3: Калибровка модели

Сравниваем с экспериментальным значением:

$$\lambda_{\text{расч}} = 0,967 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$$

$$\lambda_{\text{эксп}} = 0,130 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$$

Находим калибровочный коэффициент:

$$K = \lambda_{\text{эксп}} / \lambda_{\text{расч}} = 0,130 / 0,967 \approx 0,1344$$

Калиброванная формула:

$$\lambda_{\text{калибр}}(T) = K * \frac{1,11}{M^{\frac{1}{2}}} * (3 + 20 * (1 - T_r^{\frac{2}{3}}))$$

Этап 4: Расчет теплопроводности для других температур

Пример 1:  $T = 20^{\circ}\text{C}$  (293 K)

$$\begin{aligned} T_r &= 293/794 \approx 0,369 \\ (1 - T_r) &= 0,631 \\ 0,631^{\frac{2}{3}} &\approx 0,739 \\ \lambda &= 0,0746 * (3 + 20 * 0,739) \approx 0,133 \text{ Вт/(м * К)} \end{aligned}$$

Пример 2:  $T = 60^{\circ}\text{C}$  (333 K)

$$\begin{aligned} T_r &= 333/794 \approx 0,419 \\ (1 - T_r) &= 0,581 \\ 0,581^{\frac{2}{3}} &\approx 0,685 \\ \lambda &= 0,0746 * (3 + 20 * 0,685) \approx 0,125 \text{ Вт/(м * К)} \end{aligned}$$

Пример 3:  $T = 80^{\circ}\text{C}$  (353 K)

$$\begin{aligned} T_r &= 353/794 \approx 0,445 \\ (1 - T_r) &= 0,555 \\ 0,555^{\frac{2}{3}} &\approx 0,655 \\ \lambda &= 0,0746 * (3 + 20 * 0,655) \approx 0,120 \text{ Вт/(м * К)} \end{aligned}$$

Пример 4:  $T = 100^{\circ}\text{C}$  (373 K)

$$\begin{aligned} T_r &= 373/794 \approx 0,470 \\ (1 - T_r) &= 0,530 \\ 0,530^{\frac{2}{3}} &\approx 0,627 \\ \lambda &= 0,0746 * (3 + 20 * 0,627) \approx 0,116 \text{ Вт/(м * К)} \end{aligned}$$

Шаг 5: Анализ результатов представлен в табл. 1

Таблица 1 – Таблица результатов  
Table 1 – Results table

Температура, $^{\circ}\text{C}$	Приведенная темп. ( $T_r$ )	$\lambda$ , Вт/(м·К)
0	0.369	0.133
40	0.394	0.130
60	0.419	0.125
80	0.445	0.120
100	0.470	0.116

### Результаты исследования и обсуждение

Для подтверждение предложенной методики оперативного мониторинга качества гидравлического масла была выполнена серия лабораторных тестов [1-2]. Исследования базировались на анализе кинематической вязкости, оптической плотности и уровней загрязнителей в масле, см. рис. 5-7.

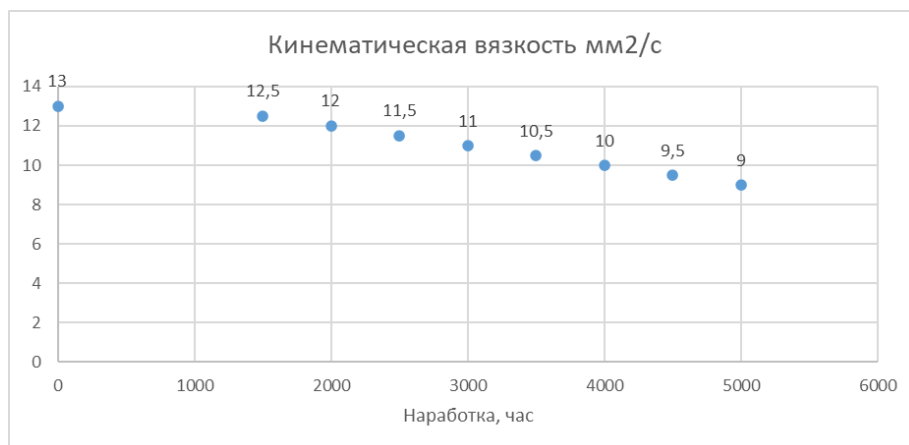


Рисунок 5-Кинематическая вязкость мм²/с  
Figure 5-Kinematic viscosity mm²/s

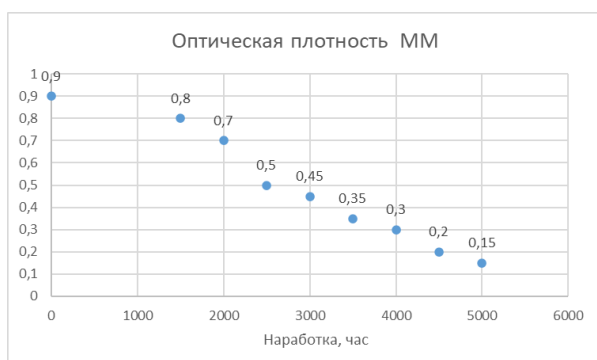


Рисунок 6-Оптическая плотность MM  
Figure 6-Optical density of MM

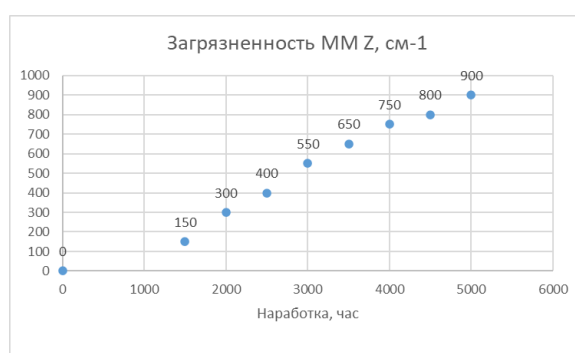


Рисунок 7– Загрязненность веществами  
Figure 7 – Contamination by substances

При анализе значений, полученных в лабораторных условиях и по предложенной нами методики, видна зависимость изменения состояния гидравлического с учетом наработки.

Загрязнение гидравлического масла вследствие недостаточной фильтрации ускоряет процессы окисления и деградации масла. Это вызывает формирование коррозионных агентов и шлама, наносящих ущерб металлическим элементам, уменьшая производительность системы и увеличивая риск ее поломки [5].

Сопротивление процессам окисления масла в гидросистемах, стимулированное загрязнителями, осуществляется несколькими способами. Основное значение имеет регулярная замена масла, которая эффективно очищает систему от окисляющихся веществ и продуктов распада, способствующих окислению. Также критически важной является качественная фильтрация, задача которой — постоянное изъятие частиц, активирующих процессы окисления.

### Вывод

Метод Сато-Ридела (известный также как метод Парахора), применяя калибровочные данные, обеспечивает точное определение теплопроводности гидравлического масла, что в свою очередь дает возможность предсказывать временные интервалы для его замены в системе.

Одним из ключевых преимуществ предложенной методики является ее способность ранее обнаруживать отклонения, что способствует предотвращению серьезных повреждений оборудования и снижению затрат на ремонт. Дополнительно, метод адаптирован для непрерывного контроля качества масла на протяжении всего периода эксплуатации оборудования.

Для повышения эффективности и увеличения срока службы гидравлической системы необходим регулярный анализ качества гидравлического масла и предотвращение его контаминации в процессе работы. Выполнение регламентных работ по замене масла и его очистке способствует предупреждению минимизировать риск возникновения неисправностей в системе.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ASTM D445-10 Стандартный метод определения кинематической вязкости прозрачных и непрозрачных жидкостей (и расчет динамической вязкости).
2. ASTM D6595 Стандартный метод испытаний для определения продуктов износа металлов и загрязнений в отработанных смазочных маслах или отработанных гидравлических жидкостях методом атомно-эмиссионной спектроскопии с вращающимся дисковым электродом.
3. ASTM D7896 – Стандартный метод определения теплопроводности жидкостей
4. Poling, B. E., Prausnitz, J. M., & O'Connell, J. P. (2001). *The Properties of Gases and Liquids* (5th ed.). McGraw-Hill.
5. Васильева, Л.С. Химмотология топлив, смазочных материалов и специальных жидкостей для автомобильного транспорта. Показатели качества. Классификация. Ассортимент. Оценка показателей качества и результатов испытаний: учеб. пособие для студ. вузов / Л.С. Васильева, Ю.В. Панов, А.А. Хазиев, А.В. Лаушкин; под ред. Л.С. Васильевой. – М., 2020. – 164 с.
6. Вернигора, Е. Р. Технология непрерывного контроля состояния моторного масла автотракторных двигателей по параметру теплопроводности / Е. Р. Вернигора, Е. В. Снятков // Горинские чтения. Инновационные решения для АПК : Материалы VII Международной студенческой научной конференции, Майский, 25–27 февраля 2025 года. – Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2025. – С. 173-174. – EDN YSMEXL
7. ГОСТ Р 57294-2016 Масла гидравлические. Руководство по контролю состояния и замене.
8. Определение качества гидравлического масла по теплофизическим характеристикам / А. Н. Швырев, А. В. Латынин, Б. Н. Чумаков [и др.] // Инновационные технологии на автомобильном транспорте : Материалы Всероссийской научно-технической конференции, Воронеж, 16–17 мая 2024 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, 2024. – С. 28-32. – DOI 10.58168/MOTOR2024\_28-32. – EDN AJDXZY.
9. Швырев, А. Н. Определение качества гидравлических жидкостей тепловым способом / А. Н. Швырев, А. В. Латынин, А. В. Чупахин // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе : Материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 23 мая 2023 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2023. – С. 65-68. – EDN CVMBJV.

## REFERENCES

1. ASTM D445-10 Standard Test Method for Determination of Kinematic Viscosity of Transparent and Translucent Fluids (and Calculation of Dynamic Viscosity).
2. ASTM D6595 Standard Test Method for Determination of Metal Wear Products and Contaminants in Used Lubricating Oils or Used Hydraulic Fluids by Rotating Disk Atomic Emission Spectrometry.
3. ASTM D7896 – Standard Test Method for Determination of Thermal Conductivity of Fluids
4. Poling, B. E., Prausnitz, J. M., & O'Connell, J. P. (2001). *The Properties of Gases and Liquids* (5th ed.). McGraw-Hill.
5. Vasilyeva, L.S. Chemmotology of fuels, lubricants and special liquids for motor transport. Quality indicators. Classification. Assortment. Evaluation of quality indicators and test results: textbook. student's handbook. universities / L.S. Vasilyeva, Yu.V. Panov, A.A. Khaziev, A.V. Laushkin; under the editorship of L.S. Vasilyeva. – M., 2020. – 164 p.

6. Vernigora, E. R. Technology of continuous monitoring of the condition of engine oil of auto-tractor engines by the parameter of thermal conductivity / E. R. Vernigora, E. V. Snyatkov // *Gorinskie chteniya. Innovative solutions for the agro-industrial complex : Materials of the VII International student scientific conference*, Maisky, February 25–27, 2025. – Maisky: FGBOU VO Belgorod State Agrarian University, 2025. – P. 173-174. – EDN YSMEXL
7. GOST R 57294-2016 Hydraulic oils. Guide for condition monitoring and replacement.
8. Determination of the quality of hydraulic oil based on its thermophysical characteristics / A. N. Shvyrev, A. V. Latynin, B. N. Chumakov [et al.] // *Innovative Technologies in Automotive Transport: Proceedings of the All-Russian Scientific and Technical Conference*, Voronezh, May 16–17, 2024. – Voronezh: G.F. Morozov Voronezh State Forestry University, 2024. – Pp. 28-32. – DOI 10.58168/MOTOR2024\_28-32. – EDN AJDXZY.
9. Shvyrev, A. N. Determination of the quality of hydraulic fluids by the thermal method / A. N. Shvyrev, A. V. Latynin, A. V. Chupakhin // *Innovative technologies in the agro-industrial complex : Materials of the international scientific and practical conference*, Voronezh, May 23, 2023. – Voronezh: Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, 2023. – P. 65-68. – EDN CVMBJV.



## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ АГРЕГАТОВ И СИСТЕМ АВТОМОБИЛЕЙ

В.А. Гаркуша <sup>1</sup>, А.В. Криворучко <sup>2</sup>, И.А. Кравцов <sup>3</sup>, В.А. Иванников <sup>4</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет имени

Г.Ф. Морозова,

г. Воронеж, Россия

Автор, ответственный за переписку: Виталий Андреевич Гаркуша,

Garkusha2162@mail.ru

**Аннотация:** В представленной работе осуществлен системно-аналитический обзор актуальных методик неразрушающего контроля (НК), интегрируемых в процессы технического обслуживания и ремонта автотранспортных средств. Детальному рассмотрению подвергнуты технологические аспекты виброакустических, тепловизионных, ультразвуковых, эндоскопических методик, а также анализа данных бортовых сетей.

**Ключевые слова:** неразрушающий контроль, автомобильная диагностика, предиктивная аналитика, вибромониторинг, тепловизионный анализ, интегрированные диагностические системы, техническая эксплуатация.

## MODERN METHODS OF DIAGNOSTICS OF AGGREGATES AND SYSTEMS IN THE CAR

V.A. Garkusha <sup>1</sup>, A.V. Krivoruchko <sup>2</sup>, I.A. Kravtsov <sup>3</sup>, V.A. Ivannikov <sup>4</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup> Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov,  
Voronezh, Russia

The author responsible for the correspondence: Vitaly Andreevich Garkusha,

Garkusha2162@mail.ru

**Abstract:** In the presented work, a system-analytical review of current non-destructive testing (NDT) techniques integrated into the processes of maintenance and repair of motor vehicles is carried out. The technological aspects of vibroacoustic, thermal imaging, ultrasound, and endoscopic techniques, as well as data analysis of on-board networks, have been examined in detail.

**Keywords:** non-destructive testing, automotive diagnostics, predictive analytics, vibration monitoring, thermal imaging analysis, integrated diagnostic systems, technical operation.

Эволюция автомобиля в высокоинтегрированную мехатронную систему сопряжена с ростом требований к ее надежности и безопасности. Архаичные подходы к диагностике, основанные на дискретной разборке узлов, не только экономически неэффективны, но и зачастую неспособны детектировать зарождающиеся дефекты [1]. В этом контексте неразрушающие методы контроля (НК) трансформируются из вспомогательного инструмента в краеугольный камень современной системы технической эксплуатации.

Их стратегическая значимость определяется рядом преимуществ:

- Реализация принципа «прогнозирования и предупреждения» вместо концепции «реагирования и ремонта».
- Возможность оценки деградации материалов и конструкций на докритической стадии.
- Снижение жизненного цикла затрат (LCC) за счет оптимизации ремонтных интервалов и предотвращения катастрофических отказов.
- Формирование объективной базы данных для расчета остаточного ресурса агрегатов.

Целью данного исследования является не только классификация современных методов НК, но и выявление тенденций их конвергенции в единые информационно-измерительные комплексы, способные к автономной аналитике [2].

Многообразие методов НК целесообразно классифицировать по доминирующему физическому принципу, определяющему область их максимальной эффективности:

1. Методы, основанные на анализе механических колебаний: Вибрационная диагностика, Акустическая эмиссия (АЭ), Ультразвуковая дефектоскопия.
2. Тепловизионные технологии: Инфракрасная термография.
3. Визуализирующие системы: Техническая эндоскопия.
4. Методы диагностики по косвенным признакам: Анализ параметрических потоков данных бортовых сетей (OBD-II, CAN-шина).

### **2.1. Вибродиагностика – мониторинг кинематических цепей**

Сущность метода заключается в корреляции между динамикой вибрационных сигналов и изменением физико-механических свойств контролируемого объекта. Регистрация осуществляется высокочувствительными акселерометрами.

Области предикативной диагностики:

Силовой агрегат: Идентификация дисбаланса роторных систем (коленвал, ТНВД), диагностика зазоров в кривошипно-шатунном механизме, детонационное сгорание.

Трансмиссия: Диагностика состояния зубчатых зацеплений КПП и главной передачи, оценка целостности подшипниковых опор.

Вспомогательные системы: Анализ работоспособности приводных навесных агрегатов (генератор, помпа).

Современный анализ оперирует не только спектральными характеристиками, но и методами кепстрального анализа и вейвлет-преобразования, что позволяет выделять слабые сигналы на фоне интенсивных шумов.

В отличие от вибродиагностики, АЭ регистрирует не вынужденные, а собственные колебания, генерируемые материалом в процессе пластической деформации или роста трещин.

Уникальные компетенции метода:

– Мониторинг несущих структур: Локализация зон усталостного повреждения кузова, рам, элементов подвески.

– Трибодиагностика: Выявление микропроскальзываний в подшипниках качения до появления вибрационных симптомов.

– Контроль герметичности: Диагностика утечек рабочих fluids (топливо, хладагент) по акустическому сигналу истечения.

Метод обладает исключительной чувствительностью, но требует сложной процедуры фильтрации полезных сигналов от помеховых.

Метод базируется на свойствах ультразвуковых волн отражаться от границ раздела сред.

Практическая реализация в сервисе:

Ультразвуковая толщинометрия: Количественная оценка коррозионного износа элементов кузова, рамы, трубопроводов.

Дефектоскопия: Выявление расслоений в композитных материалах, контроль качества сварных соединений [3].

Инфракрасная термография преобразует невидимое тепловое излучение в карту температурных полей.

Ключевые направления применения:

Диагностика электронных систем: Выявление аномальных тепловых в блоках управления, силовых цепях, контактных группах, что позволяет предотвратить электрические отказы.

Теплоэнергетический анализ ДВС: Оценка равномерности теплосъема с головки блока цилиндров, диагностика термостата, радиатора и системы рециркуляции ОГ.

Механические системы: Контроль температурного режима тормозных механизмов и подшипниковых узлов.

Метод отличается оперативностью, но его точность лимитирована необходимостью учета коэффициента эмиссии поверхности.

Видеоэндоскопия представляет собой «замочную скважину» во внутренние полости агрегатов [4].

Сферы незаменимого применения:

Интраскопия ДВС: Визуальная инспекция камер сгорания, клапанов, стенок цилиндров без проведения капитального ремонта.

Обследование топливной аппаратуры: Контроль состояния распылителей форсунок.

Кузовной ремонт: Осмотр скрытых полостей на предмет коррозии и деформаций.

Современные эндоскопы с функцией 3D-сканирования позволяют не только обнаруживать, но и количественно оценивать геометрию дефектов.

Данный метод использует легализованный канал связи с электронной нервной системой автомобиля.

Диагностический потенциал:

– Интерпретация кодов неисправностей (DTC): Быстрая идентификация отказавшего функционального модуля.

– Анализ параметров в реальном времени: Оценка эффективности работы систем по данным датчиков (давление, расход, состав смеси, углы опережения).

– Формирование трендов: Сбор исторических данных для прогнозирования отказов (например, постепенное снижение компрессии по косвенным признакам).

OBD-II является отправной точкой любой комплексной диагностики, предоставляя вектор для дальнейшего, более глубокого, физического исследования.

Синергия методов и переход к интеллектуальной диагностической платформе

Диагностическая ценность методов многократно возрастает при их интеграции в единый киберфизический комплекс [5].

Таблица 1. Сравнительный анализ методов НК в автомобильной диагностике

Table 1. Comparative analysis of NC methods in automotive diagnostics

Метод	Целевые дефекты	Ключевое преимущество	Критическое ограничение
Вибродиагностика	Дисбаланс, износ, люфты	Количественная оценка тяжести дефекта	Зависимость от точки установки датчика
Акустическая эмиссия	Развитие трещин, трение	Сверхраннее обнаружение активных дефектов	Высокие требования к квалификации оператора
Термография	Перегрев, нарушения теплообмена	Панорамный контроль, бесконтактность	Влияние внешних тепловых помех

Ультразвук	Внутренние дефекты, толщина	Высокая точность измерений	Необходимость акустического контакта
Эндоскопия	Поверхностные повреждения	Прямое доказательство дефекта	Ограничение по глубине и углу обзора
OBD-II анализ	Функциональные сбои	Скорость и интеграция в архитектуру автомобиля	Не диагностирует механический износ напрямую

Сценарный пример комплексной диагностики:

- Симптом: Повышенный расход топлива.
- OBD-II: фиксирует обедненную топливно-воздушную смесь.
- Термография: выявляет аномальный нагрев впускного коллектора, указывающий на подсос не измеряемого воздуха.
- Акустическая эмиссия: локализует точку утечки по звуку проходящего через микротрещину воздуха.
- Эндоскопия: визуально подтверждает наличие трещины.

Современные неразрушающие методы диагностики переживают этап качественной трансформации, движущей силой которой является цифровизация. Выделяются три магистральных тренда:

Конвергенция данных: Создание единого информационного пространства, где данные с датчиков НК, бортовых систем и проектной документации (digital twin) взаимно обогащают друг друга.

Развитие встроенных систем мониторинга: Проектирование агрегатов с интегрированными датчиками АЭ и вибрации для lifelong-мониторинга, что является основой для новых бизнес-моделей (например, техника как услуга - TaaS) [6].

Таким образом, неразрушающий контроль эволюционирует из инструмента поиска неисправностей в стратегическую технологию управления жизненным циклом автомобиля, обеспечивающую беспрецедентный уровень эксплуатационной готовности и экономической эффективности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калашников, В. П. Цифровые двойники в технической диагностике транспортных средств / В. П. Калашников, А. С. Семенов. – Москва : Техносфера, 2021. – 312 с.
2. Григорьев, А. В. Прецизионная виброакустика в машинно-аппаратурном комплексе / А. В. Григорьев. – Санкт-Петербург : Профессия, 2020. – 288 с.
3. Зотов, И. С. Инфракрасная диагностика в условиях промышленного интернета вещей / И. С. Зотов // Датчики и системы. – 2022. – № 5. – С. 45–53.
4. Woller, S. Automobil-Sensorik 4.0: Grundlagen der Steuerung / S. Woller, M. Haas. – Berlin : Springer Vieweg, 2021. – 288 с.
5. Jardine, A. K. S. A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance / A. K. S. Jardine, D. Lin, D. Banjevic // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2022. – Vol. 172. – Article 108989.
6. SAE J1979: Digital Annex of E/E Diagnostic Test Modes : standard / SAE International. – Rev. Jun. 2023. – URL: [https://www.sae.org/standards/content/j1979\\_202306/](https://www.sae.org/standards/content/j1979_202306/) (дата обращения: 15.11.2024).

## REFERENCE

1. Калашников, В. П. Цифровые двойники в технической диагностике транспортных средств / В. П. Калашников, А. С. Семенов. – Москва : Техносфера, 2021. – 312 с.

2. Григорьев, А. В. Прецизионная виброакустика в машинно-аппаратурном комплексе / А. В. Григорьев. – Санкт-Петербург : Профессия, 2020. – 288 с.
3. Зотов, И. С. Инфракрасная диагностика в условиях промышленного интернета вещей / И. С. Зотов // Датчики и системы. – 2022. – № 5. – С. 45–53.
4. Воллер, С. Автомобильная сенсорика 4.0: Система управления / С. Воллер, М. Хаас. – Берлин : Springer Vieweg, 2021. – 288 с.
5. Джардин, А. К. С. Обзор по диагностике и прогнозированию технического обслуживания машин на основе технического состояния / А. К. С. Джардин, Д. Лин, Д. Баневич // Механические системы и обработка сигналов. – 2022. – Том 172. – Артикул 108989.
6. SAE J1979: Цифровое приложение для режимов электронного диагностического тестирования: стандарт / Международный стандарт SAE и др. – Обновлено в июне 2023 года. – URL: [https://www.sae.org/standards/content/j1979\\_202306/](https://www.sae.org/standards/content/j1979_202306/) (дата публикации: 15.11.2024).

## ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КАК ОСНОВА РАЗРАБОТКИ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО МАСЛА АВТОМОБИЛЯ

А.Н. Швырёв<sup>1</sup>, С.А. Швырёв<sup>2</sup>, Е.Р. Вернигора<sup>3</sup>, Б.Н. Чумаков<sup>4</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,  
г. Воронеж, Россия

Автор, ответственный за переписку: Андрей Николаевич Швырев, shvyriov74@mail.ru

**Аннотация:** Контроль качества гидравлического масла имеет решающее значение для эффективной и надёжной работы гидравлических систем. Почти 80% отказов в таких системах связаны с плохим состоянием жидкости. Регулярный анализ и поддержание чистоты масла помогают предотвратить дорогостоящие поломки, продлить срок службы оборудования и повысить производительность.

**Ключевые слова:** Диагностика, температура, температурное поле, гидравлическое масло, качество, срок службы

## THERMOPHYSICAL ANALYSIS AS THE BASIS FOR THE DEVELOPMENT OF A METHOD FOR DETERMINING THE RESIDUAL RESOURCE OF HYDRAULIC OIL IN A CAR

A.N. Shvyrev<sup>1</sup>, S.A. Shvyrev<sup>1</sup>, E.R. Vernigora<sup>1</sup>, B.N. Chumakov<sup>1</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup> Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,  
Voronezh, Russia

The author responsible for the correspondence: Andrey Nikolaevich Shvyrev, shvyriov74@mail.ru

**Abstract:** Quality control of hydraulic oil is crucial for efficient and reliable operation of hydraulic systems. Almost 80% of failures in such systems are related to poor fluid condition. Regular analysis and maintenance of oil purity help to prevent costly breakdowns, extend the service life of equipment and increase productivity.

**Keywords:** Diagnostics, temperature, temperature field, hydraulic oil, quality, service life.

Качество гидравлического масла представляет собой важнейший фактор, влияющий на надёжность и продолжительность эксплуатации промышленного оборудования. Для специалистов, работающих с гидравлическими системами, умение оценивать свойства рабочей жидкости является не только теоретической дисциплиной, но также значимой производственной обязанностью. Применение гидравлического масла ненадлежащего качества может стать причиной ускоренного износа техники, незапланированных простоев в производственном процессе и значительных экономических убытков. Настоящая статья посвящена современным методам оценки качества гидравлических масел, которые позволяют повысить технологическую эффективность оборудования и свести к минимуму риск его преждевременных отказов [1-3]. Контроль качества гидравлического масла осуществляется посредством как оперативных методов, так и лабораторных исследований. Оперативная оценка охватывает визуальные и органолептические параметры, такие как цвет жидкости,

степень прозрачности, наличие осадков, характер запаха и текстура. Лабораторные методы анализа включают определение вязкости масла, степени его чистоты, уровня окисления, наличия воды и других значимых характеристик. Для реализации этих процедур применяются специализированные средства, включая инфракрасные спектрометры и онлайн-датчики [4-7]. В таблице 1 приведены основные аргументы в пользу проведения контроля качества гидравлического масла в системах данного типа.

Таблица 1 – Основные причины контроля качества гидравлического масла в гидросистеме

Table 1 – The main reasons for quality control of hydraulic oil in the hydraulic system

Наименование причины	Следствие причины
1 Предотвращение износа и повреждений.	Загрязнённое масло с частицами грязи, металлов и воды может действовать как абразив, ускоряя износ насосов, клапанов и цилиндров.
2 Поддержание эффективности системы.	Снижение качества масла приводит к ухудшению его смазывающих и охлаждающих свойств. Это заставляет систему работать с большим усилием для достижения той же производительности, увеличивая энергопотребление и эксплуатационные расходы.
3 Защита от коррозии.	Вода и химическое разложение масла могут вызывать коррозию внутренних компонентов системы.
4 Предотвращение утечек.	Качественное масло содержит присадки, которые совместимы с уплотнительными материалами. Если масло теряет свои свойства, уплотнения могут сжиматься или размягчаться, вызывая утечки.
5 Обеспечение стабильности вязкости.	Вязкость масла должна оставаться стабильной в различных условиях. Если масло становится слишком жидким или слишком густым из-за деградации, это может привести к сбоям в работе, потерям давления и плохому смазыванию.

Отсрочка замены гидравлического масла оказывает негативное воздействие на стабильность и функциональность гидросистемы, способствуя ускоренному износу её компонентов, перегреву, снижению производительности, накоплению вредных отложений, а также может привести к полной утрате работоспособности системы. Вследствие деградации масла утрачиваются его основные эксплуатационные характеристики, такие как смазывающие и охлаждающие свойства, что увеличивает уровень трения между деталями, снижает их ресурс и создает условия для накопления загрязнений. Эти загрязнения, в свою очередь, способны блокировать масляные каналы, что дополнительно усугубляет негативные последствия (таблица 2).

Таблица 2 – Последствия использования некачественного гидравлического масла в гидросистеме

Table 2 – Consequences of using low-quality hydraulic oil in the hydraulic system

Наименование причины	Следствие причины
1 Повышенный износ компонентов.	Ухудшение смазывающих свойств масла приводит к повышенному трению и износу, сокращая срок службы оборудования.
2 Низкая эффективность.	Загрязнения и изменения вязкости снижают производительность, что может проявляться в медленных

Наименование причины	Следствие причины
	или рывковых движениях цилиндров и некорректной работе рулевого управления.
3 Перегрев системы.	Недостаточное охлаждение и повышенное трение из-за некачественного масла могут привести к перегреву, что ещё больше ускоряет деградацию жидкости и может вызвать поломку.
4 Полный отказ системы.	В самых серьёзных случаях загрязнение масла может привести к блокировке клапанов и выходу из строя всей гидравлической системы.
5 Внеплановые простои и расходы.	Неожиданные поломки из-за плохого масла вызывают незапланированные простои, дорогостоящий ремонт и потерю производительности.

На сегодняшний день существуют разные методы контроля качества гидравлического масла, которые, несмотря на свою полезность, имеют определенные недостатки, требующие внимания. Недостатки лабораторного анализа:

1 Длительность времени обработки. Результаты анализа могут быть получены через несколько дней или даже недель, что зависит от загруженности лаборатории и сложности исследования. В это время оборудование продолжает эксплуатироваться, что увеличивает риск серьезных поломок при наличии скрытых проблем.

2 Искажение данных. На точность анализа может повлиять транспортировка пробы, а ошибки при её отборе способны привести к недостоверным результатам, не отражающим реального состояния масла.

3 Ограниченность во времени - такой подход даёт лишь моментальный «снимок» состояния жидкости в системе, не позволяя отслеживать изменения между замерами.

4 Высокая стоимость - проведение полного спектра лабораторных исследований нередко оказывается дорогим, что делает частый анализ недостаточно экономичным.

5 Невозможность обнаружения внезапных изменений. Лабораторные методы не способны оперативно выявлять резкие скачки загрязнений или иные быстрые изменения, которые могут происходить внутри системы.

Недостатки онлайн-мониторинга: Установка специализированного мониторингового оборудования обходится дорого, особенно если речь идёт о контроле сразу нескольких машин. Онлайн-датчики зачастую уступают лабораторному оборудованию в точности и чувствительности и могут пропустить некоторые типы загрязнений. Данные фиксируются только в месте установки датчиков, что не всегда отражает ситуацию во всей системе. Несмотря на предоставление информации в реальном времени, такие системы не способны предоставить детальных данных о химическом составе масла или параметрах износа. Недостатки методов визуального осмотра. Оценка масла по цвету, запаху или визуальным характеристикам субъективна и не позволяет обнаружить мелкие частицы, воду или другие изменения в составе, следовательно, низкая объективность. Видимые изменения, такие как потемнение масла, обычно свидетельствуют о критической стадии деградации, когда устранение ущерба становится крайне сложным. Результативность метода зависит от уровня квалификации оператора, который проводит осмотр.

В результате проделанного анализа можно сделать вывод, что термометрические исследования представляют собой один из наиболее эффективных методов мониторинга качества гидравлического масла, поскольку они предоставляют возможность контролировать его рабочую температуру. Этот параметр играет ключевую роль при оценке вязкости, смазочных характеристик и химической устойчивости масла.



Повышение температуры может свидетельствовать о наличии проблем, включая засорение фильтрационных систем, износ отдельных компонентов оборудования или применение несоответствующей рабочей жидкости [8, 9].

Контроль качества гидравлического масла в гидравлической системе с использованием тепловых измерений позволяет эффективно отслеживать и поддерживать оптимальный температурный режим. Для большинства систем оптимальная температура масла составляет 38–60 °С, однако в некоторых случаях этот диапазон может быть более узким, например, 45–50 °С для термопластавтоматов. Превышение установленных температурных пределов указывает на наличие проблем либо в работе самой системы, либо в качестве используемого масла. Скачкообразное повышение температуры может быть вызвано различными факторами, и своевременное измерение температуры помогает выявить источники этих проблем. Основные причины перегрева включают:

- Избыточное нагревание из-за трения в подвижных частях механизмов, насосов и клапанов;
- Засорение фильтров и присутствие посторонних частиц в масле, что увеличивает нагрузку на систему;
- Низкую пропускную способность оборудования или снижение эффективности работы насоса;
- Нарушение эксплуатационных параметров системы, ошибки в настройке или монтажных работах;
- Использование старого или низкокачественного масла, которое утрачивает свои смазывающие и охлаждающие свойства.

Гидравлическое масло должно выдерживать эксплуатационные температуры без деградации своих характеристик. Перегревание может разрушать присадки и химически стабильные соединения в составе масла, что негативно сказывается на его эксплуатационных свойствах и сокращает срок службы. Поддержание контроля за температурными параметрами масла позволяет избежать подобных негативных последствий и обеспечить надежность работы гидравлической системы.

Тепловые методы контроля являются важнейшим инструментом для оценки состояния гидравлических масел и оборудования. Их использование способствует переходу от устранения уже возникших проблем к прогнозирующему подходу, что позволяет минимизировать аварийные ситуации и оптимизировать затраты. Внедрение методов тепловой диагностики в сочетании с классическим лабораторным анализом обеспечивает создание действенной системы управления состоянием гидравлических масел и помогает значительно увеличить срок службы оборудования.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Харазов, А.М. Техническая диагностика гидроприводов машин. М.: Машиностроение, 1979. 112 с.
2. Богдан Н.В., Жилевич М.И., Красневский Л.Г. Техническая диагностика гидросистем: Научное издание. Мн.: Белавтотракторостроение, 2000. 120 с.
3. Техническая диагностика гидравлических приводов / Алексеева Т.В., Бабанская В.Д., Башта Т.М. [и др.]; Под общ. ред. Т.М. Башты. М.: Машиностроение, 1989. 264 с.
4. Свешников В.К. Станочные гидроприводы: Справочник 6-е изд., перераб. и доп. СПб.: Политехника, 2015. 627 с.
5. Коновалов В.М., Скрицкий В.Я., Рокшевский В.А. Очистка рабочих жидкостей в гидроприводах станков. М.: Машиностроение, 1976. 288 с.

6. Рудашко А.А., Полховский Н.Д. Методика и результаты исследования моторных масел на наличие массовой доли воды // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. №3. С. 72-74.

7. Фитч Дж., Тройер Д. Анализ масел: основы и применение / Пер. с англ. 2-го изд.; под ред. Е.А. Новикова, М.В. Кирюхина. СПб: ЦОП «Профессия», 2015. 176 с. 10. Бродский Г.С. Фильтры и системы фильтр

8. Вернигора, Е. Р. Разработка методики оценки остаточного ресурса гидравлического масла с применением электрофизических показателей / Е. Р. Вернигора, А. В. Латынин, А. Н. Швырев // Транспортные системы и дорожная инфраструктура Крайнего Севера : Сборник материалов IV Всероссийского форума, Якутск, 28–29 марта 2024 года. – Якутск: Издательский дом СВФУ, 2024. – С. 161-167.

9. Разработка алгоритма действия комплекса тепловой диагностики гидросистемы / А. Н. Швырев, Е. В. Снятков, А. В. Латынин [и др.] // Инновационные технологии на автомобильном транспорте : Материалы Всероссийской научно-технической конференции, Воронеж, 16–17 мая 2024 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, 2024. – С. 5-11.

## REFERENCES

1. Kharazov, A.M. Technical diagnostics of hydraulic drives of machines. Moscow: Mashinostroenie, 1979. 112 p.

2. Bogdan N.V., Zhilevich M.I., Krasnevsky L.G. Technical diagnostics of hydraulic systems: Scientific publication. Moscow: Belavtotraktorostroenie Publ., 2000. 120 p.

3. Technical diagnostics of hydraulic drives / Alekseeva T.V., Babanskaya V.D., Bashta T.M. [et al.]; Under the general editorship of T.M. Bashty. Moscow: Mashinostroenie, 1989. 264 p.

4. Sveshnikov V.K. Machine hydraulic drives: Handbook, 6th ed., revised. St. Petersburg: Polytechnic, 2015. 627 p.

5. Kononov V.M., Skritskiy V.Ya., Rokshevsky V.A. Cleaning of working fluids in hydraulic drives of machine tools. Moscow: Mashinostroenie, 1976. 288 p.

6. Rudashko A.A., Polkhovsky N.D. Methodology and results of the study of motor oils for the presence of a mass fraction of water // Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy. 2014. No. 3. pp. 72-74.

7. Fitch J., Troyer D. Oil analysis: fundamentals and application / Translated from English 2nd ed.; edited by E.A. Novikov, M.V. Kiryukhin. St. Petersburg: TSOP «Profession», 2015. 176 p. 10. Brodsky G.S. Filters and filter systems

8. Vernigora, E. R. Development of a methodology for assessing the residual resource of hydraulic oil using electrophysical indicators / E. R. Vernigora, A.V. Latynin, A. N. Shvyrev // Transport systems and road infrastructure of the Far North : Collection of materials of the IV All-Russian Forum, Yakutsk, March 28-29, 2024. Yakutsk: NEFU Publishing House, 2024, pp. 161-167.

9. Development of an algorithm for the operation of a complex of thermal diagnostics of a hydraulic system / A. N. Shvyrev, E. V. Snyatkov, A.V. Latynin [et al.] // Innovative technologies in road transport : Proceedings of the All-Russian Scientific and Technical Conference, Voronezh, May 16-17, 2024. Voronezh: Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov, 2024, pp. 5-11.

УДК 629.4.046.3

DOI: 10.58168/MSTT2025\_278-284

## **ПРОЕКТ МЕХАНИЗМА РЕГУЛИРОВКИ СПИНКИ ПАССАЖИРСКОГО СИДЕНЬЯ ДЛЯ ТРАНСПОРТА ДАЛЬНЕГО СЛЕДОВАНИЯ**

О. Ю. Блошенко<sup>1</sup>, А. Н. Новиков<sup>2</sup>, Е. В. Петрище<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева, г. Орел, Россия

<sup>1</sup> olegbloenkov@yandex.ru,

<sup>2</sup> novikovan58@bk.ru

**Аннотация.** В данной статье анализируется конструкция пассажирского сиденья междугороднего автобуса, рассматривается проблема, связанная с механизмом регулировки спинки сиденья, предлагается ее решение в виде проекта механизма регулировки положения пассажирского сиденья с использованием гидравлического домкрата. Дается экономическая оценка эффективности использования проекта.

**Ключевые слова:** транспорт дальнего следования, пассажирское сиденье, междугородний автобус, механизм регулировки спинки сиденья, амортизатор, гидравлический мини-домкрат.

## **THE DESIGN OF THE PASSENGER SEAT MECHANISM FOR LONG- DISTANCE TRANSPORT**

O. Y. Bloshenkov<sup>1</sup>, A. N. Novikov<sup>2</sup>, E. V. Petrishche<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> I. S. Turgenev Orel State University, Orel, Russia

<sup>1</sup> olegbloenkov@yandex.ru,

<sup>2</sup> novikovan58@bk.ru

**Abstract.** This article discusses the problems associated with bus passenger seats, analyzes the structure of the passenger seat of a long-distance bus, and proposes a draft mechanism for adjusting the position of the passenger seat using a hydraulic jack. An assessment of the effectiveness of its use is given.

**Keywords:** long-distance transport, passenger seat, long-distance bus, seat back adjustment mechanism, shock absorber, hydraulic jack

В транспортной инфраструктуре России пассажирский автомобильный транспорт занимает ведущее место в обслуживании населения, поскольку автомобильным парком Министерства транспорта Российской Федерации ежедневно перевозится более 80 млн. пассажиров. Так, по данным Росстата в 2024 году в «структуре пассажирских перевозок автомобильный транспорт занимал 86,3%» [1]

Автомобильный пассажирский транспорт имеет ряд преимуществ перед другими видами транспорта, поскольку дает возможность организации пассажирских перевозок по всей территории города, района, а автобусами дальнего следования - в пределах региона и страны в целом. Данный вид транспорта делает возможным доставку пассажиров и их багажа от места отправления к месту назначения. Кроме того, он обладает относительно высокой скоростью передвижения, хорошей маневренностью, а также обеспечивает достаточно большой комфорт и удобство для пассажиров.

Но наряду с этим автомобильный транспорт по данным страховых компаний является самым травмоопасным, особенно это касается автобусов дальнего следования из-за их высоких скоростей и маневренности. На травматизм пассажиров оказывает влияние среди других определяющих факторов также конструкция пассажирского сиденья. Следовательно, при организации пассажирских перевозок на транспорте, особенно автобусах дальнего следования, следует уделить особое внимание пассажирским сиденьям, а именно их конструкции с точки зрения комфорта для пассажиров, безопасности, прочности, эргономики. [2,3]

Форма и жесткость подушек сиденья должны обеспечивать комфортное положение тела пассажира во время продолжительных поездок на большие расстояния, длительность которых в междугороднем транспорте может продолжаться от нескольких часов до нескольких суток. При пребывании пассажиров в одном положении длительное время может возникнуть дискомфорт, а также такое положение может привести к болезненным ощущениям и даже проблемам со здоровьем. Поэтому подушки сиденья в автобусах дальнего следования более мягкие, а сами сиденья оснащены механизмами регулировки спинки сиденья, а также настраиваемыми подлокотниками, столиками, экранами. Регулировка наклона спинки сиденья, подлокотников и подголовников дает возможность пассажирам выбрать и настроить то положение, которое обеспечит наибольший комфорт во время длительной поездки.

Пассажирские сиденья должны соответствовать определенным требованиям по их ширине, высоте и глубине, а также по конфигурации подушки и спинки сиденья, высоте спинки с подголовником, высоте подлокотника и другим, которые прописаны в Методических рекомендациях по гигиене и эпидемиологии на транспорте.[4] Следует обратить внимание на материалы и формы деталей, поскольку детали из резины, кожи, пластика с слаженными закругленными контурами менее травмоопасны, чем детали из жесткой пластмассы, стекла, дерева, хромированного металла с выступающими контурами. Наличие элементов защиты таких как: ремней безопасности, боковых панелей, подголовника также способствуют снижению возможности получения травм во время внезапного торможения или аварии. Кроме того, сиденья должны учитывать анатомические особенности разных пассажиров, что включает в себя эргономически изогнутые спинки, повторяющие естественный изгиб позвоночника. Это обеспечивает поддержку тела пассажира и оптимальное распределение веса.

Многие российские ученые, такие как С. Н. Зыков, С. В. Овсянников, В. А. Умняшкин, Б. Ю. Калмыков, В. В. Дерюшев, Н. А. Овчинников [5,6,7] и другие внесли большой вклад в развитие подходов к проектированию таких элементов средств транспорта как пассажирские сиденья. Проанализировав научные работы в данной сфере, можно сделать вывод о наличии хорошей методической базы для проектирования пассажирских сидений автобуса, на которую мы опирались в ходе нашего исследования.

Следует отметить, что к сожалению, такой важный элемент в конструкции сиденья, как механизм регулировки спинки сиденья, в течение года приходит в негодность (от разных факторов), что приводит к невозможности регулировки угла наклона спинки и, таким образом, нахождению положения пассажира в одной позе в течение долгого времени, а это, в свою очередь, ведет к лишним нагрузкам на тело, в т. ч. на позвоночник, к излишнему дискомфорту, усталости и отрицательно сказывается на состоянии здоровья. Поскольку основная функция спинки- обеспечивать поддержку поясничного отдела позвоночника. Конфигурация спинки должна соответствовать изгибу позвоночного столба, особенно в области поясницы. Чтобы избежать дискомфорта, пассажир может передвигать тело вперед, но при этом спина останется без опоры, а равновесие придется поддерживать за счет больших мускульных усилий, что может вызвать усталость, дискомфорт и боль в спине. [8]

Вследствие этого, встает вопрос о замене механизма регулировки спинки сиденья на аналогичный или поиске альтернативных вариантов для обеспечения пассажиру возможности менять положение тела во время сидения. Все вышеуказанные факторы определяют актуальность проводимого исследования.

Цель исследования: разработка проекта механизма регулировки спинки пассажирского сиденья для транспорта дальнего следования с использованием альтернативных материалов. Для реализации данной цели были поставлены следующие задачи:

- ✓ изучить требования эргономики к автобусным сиденьям;
- ✓ провести анализ строения пассажирского сиденья современного автобуса;
- ✓ сконструировать механизм регулировки спинки сиденья, используя альтернативные материалы;
- ✓ разработать графическую часть проекта;
- ✓ провести финансовую оценку проекта для понимания затрат на разработку и внедрение механизма;
- ✓ провести комплекс экспериментальных исследований по апробации разработанного механизма;
- ✓ оценить безопасность проекта (испытание на прочность и надежность).

Объектом исследования является пассажирское сиденье автобуса СП – 104 и его составные элементы. Предмет исследования- механизм регулировки спинки сиденья.

Материалом для исследования послужили данные, полученные в результате анализа состояния пассажирских сидений автобусов АПХ «Мираторг» -Брянск с точки зрения работы механизма регулировки спинки. Согласно проведенного анализа из 125 автобусов марки «MERCEDES-BENZ INTOURO», «КАВЗ» которые используются вышеуказанным агрохолдингом для перевозки персонала к месту работы и обратно, спинки сидений у 90% автобусов не регулировались в результате выхода из строя механизма их регулировки, что приводило к определенным неудобствам пассажиров во время поездки, тем более, что многие маршруты довольно длительные, и сотрудникам компании приходилось находиться во время движения автобуса в некомфортном положении 2-3 часа.[8]

Условия эксплуатации автобусов дальнего следования определяются, прежде всего, требованиями наиболее качественного обслуживания пассажиров, что предполагает удобство при входе и выходе, комфортабельность проезда, высокую скорость передвижения, возможность перевозки багажа, достаточное отопление и вентиляцию салона, хорошую обзорность местности, отсутствие шума и задымленности.

Таким образом, к основным эксплуатационным свойствам автобусов дальнего следования, относится их комфортабельность. Это предполагает, в первую очередь, конструкцию и удобство расположения пассажирских сидений.

Рассматривая конструкцию современного пассажирского сидения, следует отметить, что – это сложная комбинация взаимосвязанных элементов различного функционального назначения. Изучая особенности выбора конструктивных параметров пассажирских сидений автобуса, опирались на исследования Зыкова С. Н. и Овсянникова С. В. [9], которые отмечают, что пассажирское сидение современного автобуса является «сложной системой объединенных между собой конструктивных элементов, каждый из которых представляет из себя самостоятельное изделие, интегрируемое в единую конструкцию. Из общей структуры элементов пассажирского сидения можно выделить основные конструктивные элементы, ими являются: каркас основания, или несущий каркас, (в каркасе предусматриваются точки крепления других составных частей конструкции), подлокотники, подголовник, ремни безопасности, элементы настраивающие и регулирующие опорные поверхности. Эти элементы требуют

тщательного анализа для обеспечения долговечности и надежности сидений в условиях частых поездок».

Проведенный анализ пассажирских сидений автобусов показывает, что в зависимости от назначения автобуса и условий эксплуатации сиденья в его состав входят различные наборы конструктивных элементов. Специфика междугородных, экскурсионных и туристических автобусов, то есть автобусов дальнего следования, которые предназначены для длительных поездок, предполагает более сложную геометрию посадочных поверхностей, и, соответственно, более сложную конструктивную схему пассажирского сиденья. Такие сиденья должны соответствовать требованиям эргономики, иметь качественную ткань обивки. Их конструкция предусматривает спинку с подголовником, которая имеет возможность регулироваться по наклону, что обеспечивается с помощью механизма регулировки на основе амортизатора. Кроме того, в данный тип автобусов устанавливаются двухместные сиденья, которые регулируются по ширине. Также на спинке сиденья имеется дополнительный столик и сетка для личных вещей пассажиров.

Структуру сиденья автобуса дальнего следования можно представить в виде следующей схемы, изображенной на рисунке 1:



Рисунок 1 – Структурная схема сиденья автобуса дальнего следования  
Figure 1- Structural scheme of the passenger seat of a long-distance bus.

Результатом нашей работы является получение эффективной работы механизма регулировки спинки пассажирского сиденья автобуса дальнего следования. Этот механизм представляет сложную конструкцию, составные части которой подвержены износу. В данной работе мы рассматриваем одну из таких частей, а именно амортизатор.

Принцип работы амортизатора состоит в следующем: шток поршня при нажатии на концевик выходит и заходит под рабочим давлением из корпуса цилиндра, раскладывая и складывая спинку. Нередко поломка амортизатора может происходить из-за неправильного использования. Например, резкое вставание или опускание на сиденье может привести к поломке перепускного клапана и выходу из строя всего механизма.

Таким образом, при износе амортизатора встает вопрос его ремонта, замены или поиск других источников, его замещающих. Поскольку один такой амортизатор стоит порядка 10000 рублей, и цена - не предел, поэтому в данном исследовании мы ищем альтернативную ему замену. Нами была предпринята попытка заменить изношенный амортизатор более дешевым элементом - гидравлическим домкратом, цена которого находится в диапазоне 500-700 рублей, что очевидно выгодно с экономической точки зрения.

Разработка проекта механизма регулировки с использованием альтернативных материалов была произведена на основе пассажирского сиденья СП-104, представленном на Рисунке 2. В качестве замены вышедшего из строя амортизатора была предпринята попытка его замены на гидравлический мини- домкрат (Рисунок 3). Метод получения результата исследования достигнут эмпирическим путем.

Неотъемлемой частью процесса проектировании пассажирского сиденья с использованием гидравлического домкрата является проведение комплекса натурных испытаний. Данный комплекс был проведен для пассажирского сиденья СП- 10 автобуса марки «КАВЗ» на базе АПХ «Мираторг»-Брянск. Результаты испытаний подтвердили возможность использования гидравлического мини-домкрата вместо изношенного амортизатора для регулировки спинки пассажирского сиденья в соответствии с критериями объективной оценки его комфортности и безопасности.[10]



Рисунок 2-Сиденье пассажирское СП-10 Рисунок 3- Гидравлический мини-домкрат

Figure 2- Passenger seat SP-10

Figure 3- Hydraulic jack

Чтобы рассчитать экономический эффект проведенного исследования, нужно учесть следующие параметры: стоимость амортизатора ( $C_a$ ), стоимость домкрата ( $C_d$ ), срок службы амортизатора до замены ( $T_a$ ) срок службы домкрата до замены ( $T_d$ ), количество замен амортизаторов за период эксплуатации  $P$ , количество замен домкратов за период  $P$ ,  $n_a$  - количество замен амортизатора,  $n_d$  - количество замен домкрата за период эксплуатации. Общий период эксплуатации- 8 лет.

Экономический эффект  $E$  выражается формулой:

$$E = (n_a \cdot C_a) - (n_d \cdot C_d)$$

Стоимость амортизатора: 10000 руб. стоимость гидравлического домкрата: 1000 руб. Срок службы амортизатора: 2 года. Срок службы гидравлического домкрата: 8 лет.

Таким образом,  $n_a = 8:2=4$ ;  $n_d = 8 : 8=1$ . Отсюда следует:  $E = (4 \cdot 10000) - (1 \cdot 1000) = 39000$  руб. Если учесть, что в автобусе дальнего следствия в среднем 55 сидений, то экономия составит:  $39000 \cdot 55 = 2\,145\,000$  рублей, что является весьма экономически выгодным.

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы:

1. В результате данного исследования было найдено альтернативное техническое решение при проектировании механизма поднятия спинки пассажирского сиденья автобусов.

2. Результат проведенного исследования дает весомый эксплуатационный и экономический эффект.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Транспорт в России. 2024 : статистический сборник / Росстат. – Москва, 2024. – 100 с.
2. Панеро, Д. Ж. Основы эргономики. Человек, пространство, интерьер : справочник по проектным нормам / Д. Ж. Панеро, М. П. Зелник ; пер. с англ. – Москва : АСТ : Астрель, 2006. – 319 с.
3. Петров, А. П. Основы эргономики и дизайна в автомобилестроении : учеб. пособие / А. П. Петров. – Курган : КГУ, 2004. – 163 с.
4. МР 2.5.0245-21. 2.5. Гигиена и эпидемиология на транспорте. Методические рекомендации по обеспечению санитарно-эпидемиологических требований к отдельным видам транспорта и объектам транспортной инфраструктуры : утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 17.05.2021 (ред. 26.12.2022).
5. Калмыков, Б. Ю. Автобусы. Пассивная безопасность / Б. Ю. Калмыков, В. В. Дерюшев, Н. А. Овчинников. – Ростов-на-Дону : Ростовская академия сервиса ЮРГУЭС, 2007. – 74 с.
6. Овсянников, С. В. Выбор конструктивной схемы каркаса пассажирского сиденья автобуса / В. А. Умняшкин, С. Н. Зыков, С. В. Овсянников // Интеллектуальные системы в производстве. – 2014. – № 1. – С. 83–86.
7. ГОСТ Р 41.17-2001. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении прочности сидений, их креплений и подголовников : дата введения 2001-01-01. – Москва : ИПК Изд-во стандартов, 2002. – 32 с.
8. Костромина, С. В. Анализ параметров, влияющих на эргономическое положение тела человека в позиции сидя / С. В. Костромина, И. И. Ковалева // Альманах современной науки и образования : Грамота. – Тамбов, 2008. – № 5 (12). – С. 72–74.
9. Зыков, С. Н. Особенности выбора конструктивных параметров пассажирских сидений автобусов / С. Н. Зыков, С. В. Овсянников // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 1. 11 – 14.
10. Шишкин, В. И. Критерии объективной оценки комфортности сидения / В. И. Шишкин, М. В. Шишкин // Проблемы транспортных и технологических комплексов : материалы международной научно-технической конференции, посвященной 30-летию кафедры «Строительные и дорожные машины». – Нижний Новгород : Изд-во НГТУ, 2002. – С. 210–215.

## REFERENCES

1. Transport in Russia. 2024 : statistical collection / Rosstat. – Moscow, 2024. – 100 p.
2. Panero, D. J. Fundamentals of ergonomics. Man, space, interior : a handbook on design standards / D. J. Panero, M. P. Zelnik ; translated from English – Moscow : AST : Astrel, 2006. – 319 p.
3. Petrov, A. P. Fundamentals of ergonomics and design in the automotive industry : textbook. post / A. P. Petrov. Kurgan : KSU, 2004. 163 p.
4. MR 2.5.0245-21. 2.5. Hygiene and epidemiology in transport. Methodological recommendations for ensuring sanitary and epidemiological requirements for certain types of transport and transport infrastructure facilities : approved by the Government of the Russian Federation. Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation on 05/17/2021 (as amended on 12/26/2022).



5. Kalmykov, B. Y. Buses. Passive safety / B. Y. Kalmykov, V. V. De-ryushev, N. A. Ovchinnikov. Rostov-on-Don : Rostov Academy of Service YURGUES, 2007. 74 p.
6. Ovsyannikov, S. V. The choice of the structural scheme of the frame of the passenger seat of the bus / V. A. Umnyashkin, S. N. Zykov, S. V. Ovsyannikov // Intelligent systems in production. – 2014. – No. 1. – pp. 83-86.
7. GOST R 41.17-2001. Uniform provisions concerning the official approval of vehicles with regard to the strength of seats, their fastenings and headrests : date of introduction 2001-01-01. – Moscow : IPK Publishing House of Standards, 2002. – 32 p.
8. Kostromina, S. V. Analysis of parameters affecting the ergonomic position of the human body in a sitting position / S. V. Kostromina, I. I. Kovaleva // Almanac of modern Science and education : Diploma. – Tambov, 2008. – № 5 (12). – Pp. 72-74.
9. Zykov, S. N. Features of choosing the design parameters of passenger bus seats / S. N. Zykov, S. V. Ovsyannikov // Engineering Bulletin of the Don. – 2014. – № 1. 11 – 14.
10. Shishkin, V. I. Criteria for an objective assessment of seat comfort / V. I. Shishkin, M. V. Shishkin // Problems of transport and technological complexes : materials of the international scientific and technical conference dedicated to the 30th anniversary of the department "Construction and road machinery". Nizhny Novgorod : NSTU Publishing House, 2002, pp. 210-215.

УДК 378.147

DOI: 10.58168/MSTT2025\_285-289

## РЕШЕНИЕ «ПАРАДОКСАЛЬНЫХ» ЗАДАЧ КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ КОМПЕТЕНТНОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ВУЗОВ

П. А. Баранов<sup>1</sup>, С. В. Внукова<sup>2</sup>, А. А. Тиньков<sup>3</sup>  
<sup>1, 2, 3</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет  
имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, Россия  
<sup>1</sup>cloudbreaker99@yandex.ru  
<sup>2</sup>vnukovasv@vglta.vrn.ru  
<sup>3</sup>tema230906@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается актуальность повышения компетентности обучающихся инженерных вузов в условиях динамично развивающихся технологий. Обосновывается применение «парадоксальных» задач как эффективного инструмента развития креативного мышления, а также навыков решения сложных, нетривиальных проблем. Анализируются теоретические и практические аспекты применения данного метода в образовательном процессе.

**Ключевые слова:** «парадоксальные» задачи, компетентность, инженерное образование, креативное мышление, проблемно-ориентированное обучение.

## SOLVING «PARADOXICAL» PROBLEMS AS A METHOD OF IMPROVING COMPETENCIES OF STUDENTS OF ENGINEERING UNIVERSITIES

P. A. Baranov<sup>1</sup>, S. V. Vnukova<sup>2</sup>, A. A. Tinkov<sup>3</sup>  
<sup>1, 2, 3</sup> Voronezh State University of Forestry and Technologies  
named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia  
<sup>1</sup>cloudbreaker99@yandex.ru  
<sup>2</sup>vnukovasv@vglta.vrn.ru  
<sup>3</sup>tema230906@mail.ru

**Abstract.** The article discusses the relevance of improving the competence of engineering students in the context of rapidly developing technologies. It substantiates the use of «paradoxical» problems as an effective tool for developing creative thinking and solving complex, non-trivial problems. The article analyzes the theoretical and practical aspects of using this method in the educational process.

**Keywords:** «paradoxical» problems, competence, engineering education, creative thinking, problem-based learning.

Современное инженерное образование сталкивается с необходимостью подготовки специалистов, способных не только применять существующие знания и технологии, но и генерировать инновационные решения в условиях неопределенности и быстро меняющихся технологических ландшафтов. Традиционные методы обучения, ориентированные на усвоение стандартных алгоритмов и воспроизведение информации, часто оказываются недостаточными для формирования ключевых компетенций, необходимых для успешной профессиональной деятельности инженера. В этой связи,

актуальным становится поиск и внедрение образовательных методик, способствующих развитию критического мышления, креативности, умения анализировать сложные системы и предлагать нестандартные решения [1, 2]. Использование «парадоксальных» задач представляет собой эффективный метод, позволяющий стимулировать развитие указанных компетенций у обучающихся инженерных вузов.

Целью данной статьи является исследование возможностей применения «парадоксальных» задач как метода повышения компетентности студентов, обучающихся в инженерных вузах.

«Парадоксальная» задача – это задача, содержащая противоречивые условия, требующая решения, которое на первый взгляд кажется невозможным или противоречит общепринятым нормам и принципам. Решение таких задач предполагает выход за рамки стандартного мышления, умение видеть проблему с разных точек зрения и находить неожиданные решения, основанные на комбинации известных принципов или на генерации принципиально новых подходов. В отличие от типовых задач, требующих применения известных алгоритмов, решение «парадоксальной» задачи требует творческого подхода и готовности к риску.

Применение «парадоксальных» задач в образовании базируется на нескольких ключевых теоретических концепциях.

Теория решения изобретательских задач (ТРИЗ) предлагает методологические инструменты для разрешения технических противоречий и поиска инновационных решений [3]. «Парадоксальные» задачи часто содержат противоречия, которые могут быть успешно разрешены с использованием инструментов ТРИЗ.

Конструктивизм, утверждающий, что знания активно конструируются обучающимся в процессе активного взаимодействия с окружающим миром [4, 5]. Решение «парадоксальных» задач стимулирует активное построение новых ментальных моделей и связей между существующими знаниями.

Теория когнитивной гибкости, подчеркивающая важность умения адаптироваться к меняющимся условиям и переключаться между различными способами мышления [6]. «Парадоксальные» задачи требуют гибкости мышления и умения рассматривать проблему с разных точек зрения.

Проблемно-ориентированное обучение, где обучение происходит через активное решение реальных проблем [7]. «Парадоксальные» задачи, будучи сложными и нетривиальными, идеально соответствуют принципам проблемно-ориентированного обучения.

Для успешного внедрения решения «парадоксальных» задач в образовательный процесс необходимо:

- Выбор подходящих задач: задачи должны быть актуальными, сложными, но решаемыми, соответствовать уровню подготовки обучающихся и стимулировать их интерес к поиску решения.
- Создание благоприятной атмосферы: необходимо создать атмосферу, в которой студенты не боятся высказывать свои идеи, даже если они кажутся нелепыми или нереалистичными.
- Разработка методических материалов: предоставить студентам необходимую информацию, рекомендации и инструменты для решения задач.
- Организация работы в группах: поощрять командное решение задач.
- Активизация творческого мышления и генерации идей.
- Применение метода анализа причинно-следственных связей: способствовать выявлению ключевых факторов и взаимосвязей в задаче.
- Использование моделирования и прототипирования: визуализировать решения и проверить их на практике.

- Рефлексия и анализ: после решения задачи необходимо провести рефлексию и проанализировать процесс решения, выделить основные ошибки и успехи, а также извлечь уроки на будущее.

- Оценка результатов: оценивать не только правильность решения, но и креативность, оригинальность и обоснованность предложенного подхода.

В качестве примеров «парадоксальных» задач, адаптированных для различных инженерных дисциплин, можно привести следующие:

- Логистика: Необходимо доставить груз из пункта А в пункт Б за минимальное время, при этом использовать только один вид транспорта, который имеет ограничения по скорости и грузоподъемности, а также подвержен случайным поломкам.

- Электротехника: Разработать систему передачи электроэнергии на большие расстояния без потерь, при этом используя экологически чистые материалы и технологии.

- Машиностроение: Спроектировать механизм, который выполняет определенную функцию с максимальной точностью и эффективностью, используя минимальное количество деталей и энергопотребления.

- Материаловедение: Разработать новый материал, который обладает высокой прочностью и эластичностью при экстремальных температурах, но при этом должен быть легким и экологически чистым.

- Информационные технологии: Разработать систему кибербезопасности, которая была бы абсолютно неуязвимой для хакерских атак, но при этом не затрудняла бы работу пользователей и не требовала бы сложной аутентификации.

Решение подобных задач требует от обучающихся мобилизации знаний из различных областей, умения анализировать проблему с разных точек зрения, генерировать и оценивать различные варианты решений, а также работать в команде для выработки наиболее эффективного подхода.

Таким образом, регулярное решение «парадоксальных» задач способствует развитию следующих ключевых компетенций инженеров:

- критическое мышление: умение анализировать сложные ситуации, выявлять противоречия и оценивать различные варианты решений;

- креативное мышление: способность генерировать новые идеи, находить нестандартные подходы и предлагать инновационные решения;

- системное мышление: умение видеть взаимосвязи между различными элементами системы и оценивать влияние принимаемых решений на систему в целом;

- проблемно-ориентированное мышление: способность структурировать сложную проблему, определять цели и разрабатывать стратегию решения;

- коммуникативные навыки: умение аргументировать свою позицию, взаимодействовать с другими членами команды и эффективно доносить информацию;

- адаптивность: готовность к изменениям, умение быстро адаптироваться к новым условиям и решать проблемы в условиях неопределенности.

Оценка эффективности применения «парадоксальных» задач может проводиться с использованием различных методов, таких как:

- Анкетирование студентов: самооценка развития компетенций, удовлетворенности процессом обучения.

- Анализ результатов выполнения проектных работ: оценка креативности, качества предлагаемых решений и уровня критического мышления, продемонстрированных обучающимися при решении «парадоксальных» задач.

- Сравнение успеваемости обучающихся: сравнение результатов студентов, обучавшихся с использованием метода «парадоксальных» задач, с результатами студентов, обучавшихся по традиционной методике.

- Оценка экспертами: привлечение экспертов из отрасли для оценки профессиональных компетенций выпускников, обучавшихся с использованием метода «парадоксальных» задач.

Таким образом, решение «парадоксальных» задач является эффективным методом повышения компетентности обучающихся инженерных вузов. Однако внедрение данного метода в образовательный процесс требует от преподавателей пересмотра традиционных подходов к обучению и создания среды, способствующей активному обучению и развитию творческого потенциала обучающихся. Предварительные исследования и опыт применения в рамках преподавания дисциплин кафедры электротехники, теплотехники и гидравлики ВГЛУ, а также в рамках работы научно-технического кружка «Теплотехник» показывают, что использование «парадоксальных» задач способствует повышению интереса студентов к обучению, развитию их творческого мышления и формированию навыков решения сложных проблем.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бородин, Т. Ф. Развитие креативного мышления студентов как актуальная задача высшего образования / Т. Ф. Бородин // Вестник педагогических наук. – 2021. – № 7. – С. 86-90.
2. Жукоцкая, А. В. Критическое мышление и его роль в формировании профессиональных компетенций студентов педагогического вуза / А. В. Жукоцкая, С. В. Черненко // Вестник МГПУ. Серия: Философские науки. – 2019. – № 4 (32). – С. 67-81.
3. Альтшуллер, Г. Найти идею: Введение в ТРИЗ – теорию решения изобретательских задач / Г. Альтшуллер. – 11-е изд. – Москва : Альпина Пабlishер, 2022. – 402 с. – ISBN 978-5-9614-7704-7.
4. Пшебыславская, Д. Реализация личностно-ориентированного подхода и конструктивизма в системе обучения / Д. Пшебыславская, В. Петросян, М.Н. Низамова – Текст: электронный // Вестник науки. – 2024. – Т. 1, № 12 (81). – С. 762-774. – URL: <https://www.вестник-науки.рф/article/19245> (дата обращения: 14.10.2025).
5. Жапарова, Р. С. Теория конструктивизма в современном образовании / Р. С. Жапарова // Обучение и воспитание: методики и практика. – 2014. – № 17. – С. 15-20.
6. Бершадский, М. Е. Когнитивная технология обучения: теория и практика применения / М. Е. Бершадский. – Москва : Сентябрь, 2011. – 256 с. – ISBN 9785-88753-131-1.
7. Грязнов, С. А. Современное обучение: проблемно-ориентированный подход / С. А. Грязнов // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2023. – № 3-1 (78). – С. 97-99.

### REFERENCES

1. Borodina, T. F. Development of creative thinking of students as an actual task of higher education / T. F. Borodina // Bulletin of Pedagogical Sciences. – 2021. – No. 7. – P. 86-90.
2. Zhukoczskaya, A. V. Critical thinking and its role in the formation of professional competences of pedagogical university students / A. V. Zhukoczskaya, S. V. Chernenkaya // Bulletin of the MGPU. Series: Philosophical Sciences. – 2019. – No. 4 (32). – P. 67-81.
3. Altshuller, G. Finding an Idea: Introduction to TRIZ, the Theory of Inventive Problem Solving / G. Altshuller. – 11-th edition. – Moscow : Alpina Publisher, 2022. – 402 p. – ISBN 978-5-9614-7704-7.
4. Przebyslavskaya, D. Implementation of personality-oriented approach and constructivism in learning system / D. Przebyslavskaya, V. Petrosyan, M. N. Nizamova – Text: electronic // Bulletin of Science. 2024. – Vol. 1, No. 12 (81). – P. 762-774. – URL: <https://www.вестник-науки.рф/article/19245> (accessed: 14.10.2025).
5. Japarova, R. S. The theory of constructivism in modern education / R. S. Japarova // Education and upbringing: methods and practice. – 2014. – No. 17. – P. 15-20.

6. Bershadsky, M. E. Cognitive learning technology: theory and practice of application / M. E. Bershadsky. – Moscow : September, 2011. – 256 p. – ISBN 9785-88753-131-1.
7. Gryaznov, S. A. Modern education: a problem-oriented approach / S. A. Gryaznov // International Journal of Humanities and Natural Sciences. – 2023. – No. 3-1 (78). – P. 97-99.

## ВОСПРИЯТИЕ ЧУВСТВА СКОРОСТИ ВЕЛОСИПЕДИСТАМИ-ШОССЕЙНИКАМИ

Д.О. Горлов<sup>1</sup>, У.Г. Фомина<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет  
имени Г. Ф. Морозова, г. Воронеж, Россия

<sup>1</sup> dima.vrn90@mail.ru

**Аннотация.** Этот метод измеряет и улучшает специализированное восприятие скорости у велосипедистов. Он использует визуальную демонстрацию движущейся трассы на экране и воспроизведение скорости на велостанке. Велосипедисты имеют более точное восприятие скорости по сравнению с невелосипедистами. Точность восприятия коррелирует с уровнем подготовленности велосипедистов. Методика активизирует зрительный сенсорно-перцептивный образ, повышая специализированное восприятие скорости. Это может быть полезно для улучшения спортивных результатов велосипедистов.

**Ключевые слова:** спорт, велосипедисты, методика, скорость, визуальная демонстрация.

## PERCEPTION OF SPEED SENSATION BY ROAD CYCLISTS

D.O. Gorlov<sup>1</sup>, U.G. Fomina<sup>1</sup>

<sup>1,2</sup> Voronezh State University of Forestry and Technologies  
named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

<sup>1</sup> dima.vrn90@mail.ru

**Abstract.** This method measures and enhances the specialized perception of speed among cyclists. It utilizes visual demonstration of a moving track on the screen and speed reproduction on a stationary bike. Cyclists exhibit more precise speed perception compared to non-cyclists. Accuracy of perception correlates with cyclists' level of training. The method activates visual sensorimotor patterns, enhancing specialized speed perception. This can be beneficial for improving cyclists' athletic performance.

**Keywords:** Sports, cyclists, methodology, speed, visual demonstration.

Степень развития специализированных восприятий спортсмена во многом определяет оптимальность его поведения в процессе спортивной деятельности. Поэтому одной из актуальных задач психологической подготовки спортсмена является развитие и совершенствование специализированных восприятий. Однако разработка средств развития специализированных восприятий обусловлена арсеналом методов измерения и контроля [1].

Мы предлагаем методику измерения специализированного восприятия чувства скорости велосипедистами-шоссейниками с помощью демонстрации на экране движущейся им навстречу с различной (но точно известной для исследователя) скоростью трассы велогонок. Задача испытуемых – визуально определить скорость, а также, работая на велостанке, воспроизвести ее. Разница между предъявляемой скоростью и визуально определяемой испытуемым, а также воспроизводимой на велостанке является одним из показателей комплексного специализированного восприятия им чувства скорости.

В основу методики положен важнейший принцип российской психологии – принцип единства сознания и деятельности, согласно которому формирование специализированных восприятий осуществляется в процессе езды по шоссе и обусловлено воздействием на гонщика влияют различные факторы внешней среды, такие как встречный воздушный поток, шум шин и ветер, полотно дороги и предметы, расположенные вдоль шоссе. Сформированный в процессе занятий на шоссе сенсорно-перцептивный образ специализированного восприятия скорости можно выявить подбором к объекту-индикатору соответствующих исполнительных реакций, регулируемых исследуемыми сигналами, то есть сенсорно-перцептивными образами.

Валидность методики проверялась путем визуального определения скоростей и их воспроизведения на велостанке велосипедистами и не велосипедистами. Экспериментально выявлена более высокая точность воспроизведения скоростей и их визуальная оценка велосипедистами, поскольку их действия в данном случае регулировались сенсорно-перцептивным образом, составляющим один из компонентов специализированного восприятия чувства скорости [2].

Специальное исследование показало, что в действиях испытуемых проявляется активизация сенсорно-перцептивного образа специализированного восприятия, а не способность зрительной системы различать однотипные стимулы.

В первой части исследования, испытуемые осуществляли воспроизведение скоростей на основе совмещения управляемого изображения с изображением-образцом. В основе психологического механизма такого воспроизведения лежит способность зрительной системы различать однотипные стимулы (порог чувствительности на различение). Согласно экспериментальным данным, эта способность для обеих групп испытуемых была выражена в равной мере ( $p > 0,1$ ).

Во второй части исследования, воспроизведение осуществлялось на основе зрительного сенсорно-перцептивного образа, который формируется в процессе занятий велоспортом и составляет один из компонентов специализированного восприятия чувства скорости. У невелосипедистов такого образа нет. Поэтому точность воспроизведения у них значительно хуже (табл. 1).

Таблица 1 – Совмещение изображений и воспроизведение скорости движения дороги (32 км 986 м) велосипедистами ( $n = 25$ ) и невелосипедистами ( $n = 31$ )

Table 1 – Combining images and reproducing the speed of the road (32 km 986 m) by cyclists ( $n = 25$ ) and non-cyclists ( $n = 31$ )

Наименование тестов	Испытуемые	Результаты испытуемых, км/ч		
		$\bar{X} \pm M_{\bar{x}}$	$\sigma$	C, %
Совмещение изображений	Велосипедисты	$32,693 \pm 0,033$	1,649	5,0
	Невелосипедисты	$32,946 \pm 0,388$	2,128	6,4
Воспроизведение на велостанке	Велосипедисты	$31,888 \pm 0,571$	2,799	8,8
	Невелосипедисты	$21,047 \pm 1,430$	7,382	35,1

Динамика специализированного восприятия скорости исследовалась на группах велосипедистов различной квалификации. Установлено, что степень развития специализированных восприятий зависит от уровня подготовленности и мастерства велосипедистов: чем выше класс спортсменов, тем точнее визуальная оценка более высоких скоростей (рис. 1).



Таким образом, результаты исследований показывают, что визуальная оценка скоростей и их воспроизведение осуществляются путем активизации зрительного сенсорно-перцептивного образа специализированного восприятия. Следовательно, активизируя образ специфическими раздражителями, мы способствуем развитию и совершенствованию у велосипедистов восприятия чувства скорости [3].

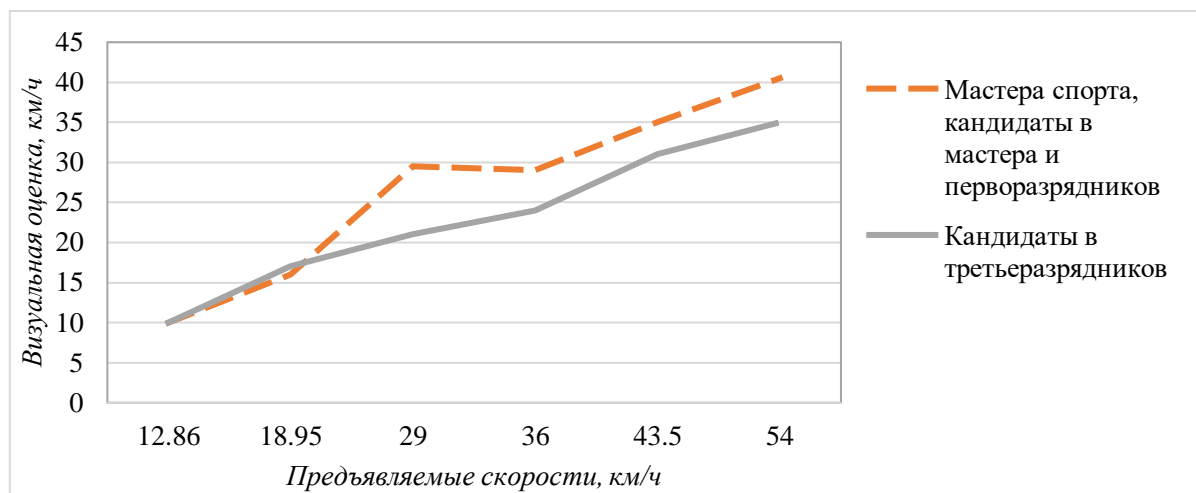


Рисунок 2 – Динамика специализированного восприятия чувства скорости велосипедистами в зависимости от квалификации

Figure 1 – Dynamics of cyclists' specialized perception of speed depending on their qualifications

Поскольку внешняя среда является источником всех психических процессов, модель внешней среды в виде движущейся на экране дороги может быть использована как средство активизации сенсорно-перцептивных процессов у велосипедистов при работе на велостанке в зимних условиях. Методика применялась в комплексных медико-биологических исследованиях велосипедистов сборной как средство повышения сенсорно-перцептивной активности гонщиков.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веккер, Л. М. Психические процессы. Изд-во ЛГУ, 1974.
2. Рудик, П. А. Понятие, содержание и задачи психологической подготовки спортсмена. В кн.: Психологическая подготовка спортсмена, М., ФиС, 1965.
3. Инклюзивное обучение в физическом воспитании студентов вузов: психолого-педагогические аспекты / С. С. Плотникова, А. В. Плотникова, Ф. Ф. Шестаков, У. Г. Фомина // Культура физическая и здоровье. – 2024. – № 1(89). – С. 397-400. – DOI 10.47438/1999-3455\_2024\_1\_397.

## REFERENCES

1. Vekker, L. M. Mental processes. LSU Publishing House, 1974.
2. Rudik, P. A. The concept, content and tasks of psychological athlete training. In: Psychological preparation of an athlete, M., FiS, 1965.
3. Inclusive education in physical education of university students: psychological and pedagogical aspects / S. S. Plotnikova, A. V. Plotnikova, F. F. Shestakov, U. G. Fomina // Physical culture and health. – 2024. – № 1(89). – Pp. 397-400. – DOI 10.47438/1999-3455\_2024\_1\_397.

## ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ОРГАНИЗАЦИИ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ В ВЫСШЕЙ ШКОЛЕ

И. В. Беликова<sup>1</sup>, И. В. Григорьева<sup>2</sup>, А. А. Мазур<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова,  
Воронеж, Россия, <sup>1</sup> kfhbyf79@mail.ru

**Аннотация.** Основное внимание в работе акцентируется на применении комплексного подхода к выбору средств физического воспитания что делает образовательный процесс более адаптивным, управляемым и оперативно корректируемым.

**Ключевые слова:** Инновационное образование, система подготовки, физическое воспитание, профессиональная работоспособность.

## GENERAL ISSUES OF ORGANIZING PHYSICAL EDUCATION IN HIGHER EDUCATION

I. V. Belikova<sup>1</sup>, I. V. Grigorieva<sup>2</sup>, A. A. Mazur<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup> Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,  
Voronezh, Russia, <sup>1</sup> kfhbyf79@mail.ru

**Abstract.** This paper focuses on the use of an integrated approach to selecting physical education resources, making the educational process more adaptive, manageable, and quickly adjusted.

**Keywords:** Innovative education, training system, physical education, professional performance.

В современной педагогической науке наблюдается повышенный интерес к вопросам, связанным с инновационным образованием, технологиями и деятельностью. Термин «инновация» берет свое начало в латинском языке. Он состоит из двух частей: «novatio», что переводится как «обновление» или «изменение», и приставки «in», которая указывает на направление действия. Вместе они формируют понятие движения к чему-то новому или улучшенному. При этом инновация подразумевает не только создание и распространение новшеств, но и глубокие, существенные изменения в методах работы и способах мышления. Педагогическая инновация, в свою очередь, определяется как внедрение новшеств в образовательную практику, приводящее к изменениям в содержании и методиках обучения и воспитания с целью достижения более высоких результатов.

Для подготовки будущих специалистов в области автомобильного транспорта с применением инновационных технологий разработана комплексная программа. Она включает в себя четко определенные цели, этапы обучения, критерии оценки, инновационные технологии, а также соответствующие организационные формы, методы и средства. Важным принципом при создании программы является стремление к тому, чтобы процесс профессионального становления студентов максимально отражал реальные процессы инновационной деятельности.

Современная педагогика активно исследует новаторские подходы к образованию, включая новые технологии и методы работы. Само понятие «инновация» происходит от

латинского слова, означающего «обновление» или «изменение», с приставкой, указывающей на направленность действия. Таким образом, инновация означает движение к чему-то новому или усовершенствованному. Это не просто создание и внедрение новшеств, но и глубокие преобразования в способах работы и мышления. В контексте образования, педагогическая инновация представляет собой внедрение новаторских решений в учебный процесс, что ведет к изменениям в содержании и методиках преподавания и воспитания, направленных на достижение лучших результатов.

Для подготовки будущих специалистов в области автомобильного транспорта с использованием передовых технологий была разработана комплексная программа. Она включает в себя четко сформулированные цели, этапы обучения, критерии оценки, инновационные методики, а также соответствующие организационные формы, методы и инструменты. Ключевым принципом при создании этой программы стало стремление к тому, чтобы процесс профессионального развития студентов максимально соответствовал реальным процессам, происходящим в сфере инновационной деятельности.

Основой для данной системы подготовки послужили системный, рефлексивно-деятельностный и творческий подходы. Системный подход предполагает, что все элементы профессионального образования должны активно способствовать проявлению всех аспектов инновационной деятельности в их взаимосвязи. Рефлексивно-деятельностный подход требует от преподавателей активной исследовательской позиции по отношению к своей работе и к себе, чтобы критически оценивать и осмысливать ее влияние на личностный рост студентов. Творческий подход позволяет сделать обучение глубоко индивидуальным, способствуя раскрытию и развитию у студентов их уникальных творческих способностей и оригинальных способов деятельности.

Функционал кафедр физического воспитания как научно-образовательных подразделений определяется требованиями к профессорско-преподавательскому составу, к которому относятся педагогические работники этих кафедр.

Согласно постановлению Правительства Российской Федерации от 21.02.2022 г. № 225 «Об утверждении номенклатуры должностей педагогических работников организаций, осуществляющих образовательную деятельность, должностей руководителей образовательных организаций», к профессорско-преподавательскому составу относятся следующие педагогические работники:

- Ассистент
- Декан факультета
- Начальник факультета
- Директор института
- Начальник института
- Доцент
- Заведующий кафедрой
- Начальник кафедры
- Заместитель начальника кафедры
- Профессор
- Преподаватель
- Старший преподаватель

В соответствии с Методическими рекомендациями Минобрнауки России (от 23.09.2021 г.), вузы, подведомственные министерству, должны оценивать эффективность своих преподавателей, используя систему эффективного контракта. Эти рекомендации позволяют образовательным организациям самостоятельно формировать и применять

набор показателей для оценки профессорско-преподавательского состава по таким направлениям, как учебная, учебно-методическая, научно-исследовательская и воспитательная деятельность. Поэтому для кафедр физического воспитания актуальны следующие ключевые направления работы: учебная, учебно-методическая, научно-исследовательская и воспитательная.

Применение комплексного подхода к выбору средств физического воспитания делает образовательный процесс более адаптивным, управляемым и оперативно корректируемым. Такая организация обучения предоставляет студентам возможность самостоятельно выбирать основной вид спорта, при этом они обязаны полностью освоить предписанную часть программы. Тем не менее, разработанные программы занятий для основного и спортивного отделений служат лишь отправной точкой для дальнейшей педагогической деятельности преподавателей кафедры физического воспитания.

Для достижения положительных результатов в физическом развитии занимающихся крайне важно, чтобы интенсивность тренировок соответствовала их индивидуальным возможностям. В этом контексте, определение типа телосложения (конституции) является одним из ключевых элементов персонализированного подхода к физическому воспитанию. Такой подход позволяет подобрать оптимальное сочетание упражнений ритмической гимнастики с элементами нагрузок из других видов спорта. Это, в свою очередь, эффективно решает задачу предотвращения негативных последствий малоподвижного образа жизни (гипокинезии), характерных для студентов, связанных с их производственной деятельностью.

Последние научные исследования сформировали новые методологические принципы, которые отражают современные взгляды на развитие физической культуры в образовательной системе. Эти принципы касаются:

- Разработки содержания и направленности спортивных дисциплин в учебных планах.
- Решения актуальных задач профессионально-прикладной физической культуры студентов.
- Создания программно-методической базы для физического воспитания и спорта.

В современном мире возрастают требования к профессиональной работоспособности. Это означает, что для успешной трудовой деятельности необходимо не только отсутствие проблем со здоровьем, ограничивающих выполнение профессиональных обязанностей, но и наличие специальных физических и психических качеств. Эти качества позволяют эффективно применять имеющиеся знания, опыт и навыки в условиях высокой сложности, а порой и экстремальных ситуаций.

Чтобы заинтересовать студентов в учебе и внеучебной деятельности, необходимо учитывать, насколько сложен материал для усвоения. Он должен соответствовать возрасту, физическим и психологическим особенностям, а также коммуникативным и познавательным способностям каждого студента, чтобы в итоге они получили значимый для себя результат. Внеучебная деятельность должна предлагать широкий выбор спортивных и физкультурных занятий, давая студентам возможность выбирать то, что им нравится. Важно поддерживать их творческое развитие, инициативу и самостоятельность, помогая формировать важные личные и профессиональные качества.

Гуманизация образования, с акцентом на свободу, интересы и потребности личности, привела к переосмыслению содержания образования, в том числе и образа будущего учителя. Разработка образовательных стандартов и программ коснулась и физического воспитания, которое играет важную роль в формировании личности и ее готовности к профессиональной деятельности. Главная задача – сформировать у

студентов физическую культуру, которая позволит им перейти от простого физического воспитания к самостоятельному физическому совершенствованию.

Опыт показывает, что изменения в обществе повлияли и на систему физического воспитания. Анализ показывает, что прежние организационные структуры этой системы устарели. Нехватка учителей физкультуры и преподавателей физического воспитания стала серьезной проблемой в образовательных учреждениях. Часто специалисты работают с большой перегрузкой, что негативно сказывается на качестве обучения. Поэтому кафедрам физической культуры необходимо искать новые подходы и методы для формирования физической культуры личности в условиях современной многоуровневой системы образования.

В заключении хочется сказать одно, но для всех, как обучающихся студентов, так и для обучающихся их преподавателей, наши тело и здоровье, как и жизнь даются только один раз и то какими они будут зависит в основном именно от нас, а потому никогда нельзя забывать с детства знакомую всем фразу «В здоровом теле, здоровый дух» ведь эти слова отнюдь не пустые, берегите и делайте только крепче свое здоровье.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Алхасов, Д.С. Организационно-методические основы физкультурно-спортивной работы: учебник для вузов / Д.С. Алхасов. – М.: Юрайт, 2025. – 144 с.
2. Пушкарёва, И.Н. Организация физического воспитания в вузе / И.Н. Пушкарёва // Наука и образование: векторы развития: материалы международной научно-практической конференции. – Чебоксары: Экспертно-методический центр, 2020. – С. 133–136. EDN IZKMJT
3. Рахматов, А.И. Особенности преподавания предмета «Физическая культура» в вузе / А.И. Рахматов // Педагогика сегодня: проблемы и решения: материалы VII Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, март 2021 г.). – СПб.: Свое издательство, 2021. – С. 42–45. EDN ESJNRT
4. Физическое воспитание и спорт в высших учебных заведениях: сборник статей XIX Международной научной конференции (Белгород, Москва, Чирчик, 25–26 апреля 2023 года). – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – 471 с.
5. Чемодурова, М.А. Организация учебного процесса по физической культуре в вузе в пространстве физкультуры и спорта / М.А. Чемодурова, Д.Р. Сабирзянов // Физическое воспитание и студенческий спорт глазами студентов: материалы VII Международной научно-практической конференции. – Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2021. – С. 70–73. EDN UPJWRZ

### **REFERENCES**

1. Alkhasov, D.S. Organizational and methodological foundations of physical education and sports work: a textbook for universities / D.S. Alkhasov. - Moscow: Yurait, 2025. - 144 p.
2. Pushkareva, I.N. Organization of physical education at the university / I.N. Pushkareva // Science and education: development vectors: materials of the international scientific and practical conference. - Cheboksary: Expert and methodological center, 2020. - pp. 133-136. EDN IZKMJT
3. Rakhmatov, A.I. Features of teaching the subject «Physical Education» at the university / A.I. Rakhmatov // Pedagogy today: problems and solutions: materials of the VII International. scientific. conf. (St. Petersburg, March 2021). – St. Petersburg: Svoye izdatelstvo, 2021. – Pp. 42–45. EDN ESJNRT
4. Physical Education and Sport in Higher Education Institutions: Collection of Articles from the XIX International Scientific Conference (Belgorod, Moscow, Chirchik, April 25–26, 2023). – Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2023. – 471 p.
5. Chemodurova, M.A. Organization of the Educational Process in Physical Education at a University in the Framework of Physical Education and Sports / M.A. Chemodurova, D.R. Sabirzyanov // Physical Education and Student Sport through the Eyes of Students: Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference. – Kazan: KNITU-KAI Publishing House, 2021. – Pp. 70–73. EDN UPJWRZ.

## НЕСПЕЦИФИЧЕСКАЯ РЕАКЦИЯ ОРГАНИЗМА ПРИ ЗАНЯТИЯХ СПОРТОМ

И. В. Григорьева<sup>1</sup>, Е. Г. Волкова<sup>2</sup>, И. А. Кондратенко<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,  
г. Воронеж, Россия

<sup>1</sup> griiya@mail.ru

**Аннотация.** Исследование посвящено изучению неспецифического синдрома «напряжения» у спортсменов, проявляющегося в виде эозинопении (снижения уровня эозинофилов) под воздействием физических нагрузок и эмоционального стресса. Анализируется роль витамина В1 в смягчении стрессовых реакций и ускорении восстановления.

**Ключевые слова:** неспецифический синдром напряжения, эозинопения, адаптация, спортивные нагрузки, восстановление, гормональные реакции, гомеостазис.

## NON-SPECIFIC REACTION OF THE BODY DURING SPORTS

I. V. Grigorieva<sup>1</sup>, E. G. Volkova<sup>2</sup>, I. A. Kondratenko<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,  
Voronezh, Russia

<sup>1</sup> griiya@mail.ru

**Abstract.** The study examines nonspecific «exertion syndrome» in athletes, manifested as eosinopenia (a decrease in eosinophil levels) under the influence of physical exertion and emotional stress. The role of vitamin B1 in mitigating stress reactions and accelerating recovery is analyzed.

**Keywords:** nonspecific tension syndrome, eosinopenia, adaptation, sports loads, recovery, hormonal reactions, homeostasis.

Изучалась реакция «напряжения» при спортивных упражнениях, в частности, для выяснения следующих вопросов: а) имеет ли место реакция «напряжения» при спортивных упражнениях субмаксимальной и переменной интенсивности, а также при упражнениях, связанных с охлаждением, и в каком направлении развиваются адаптационные возможности организма; б) существует ли возможность устранения инерции гормональных реакций при стрессе, вызванном спортивными упражнениями.

Исследования велись на спортсменах различной специализации и спортивного стажа: 10 боксерах, 8 пловцах, 10 штангистах, 8 футболистах, а также на 12 испытуемых, не занимающихся спортом.

Для выявления реакции «напряжения» изучалась степень изменения количества эозинофилов в периферической крови. Предварительно у испытуемых был определен фон спонтанного колебания количества эозинофилов в периферической крови за время бодрствования (посредством подсчета эозинофилов через двухчасовые промежутки времени) и взята проба Торна (АКТГ-тест).

За 4 часа, а затем за 10 мин. до начала тренировочных занятий и соревнований по боксу, поднятию тяжестей, плаванию, заплывов на 100–200 м, бегу на средние дистанции (1000 и 1500 м) и футболу у испытуемых сосчитывалось количество эозинофилов периферической крови. На 10-й мин после окончания тренировочных занятий и состязаний, а затем через 3 часа производилось повторное исследование. Одновременно учитывались послерабочие физиологические сдвиги в основном в тех

системах, которые лимитируют мышечную деятельность (сердечно-сосудистая и дыхательная).

Наблюдения над восстановлением исходного уровня эозинофилов в периферической крови велись на протяжении 12–36 час после окончания спортивных состязаний [1]. В отдельных случаях после окончания спортивного состязания (через 12 час) у испытуемых бралась проба Торна.

На 12 испытуемых, не занимающихся спортом и не закаливающихся к воздействию низкой температуры, было проведено исследование влияния низкой температуры (5–8 мин пребывания в воде с температурой 18°C) на эозинофильный показатель белой крови.

Подсчет эозинофилов велся в счетной камере Фукс-Розенталя. В каждой пробе крови количество эозинофилов сосчитывалось в четырех сетках и выводилось среднее число. Учитывались только изменения количества эозинофилов, превышающие 30%.

Четырехкратный подсчет количества эозинофилов в каждой пробе крови показал, что спонтанные колебания количества эозинофилов в периферической крови, как правило, не выходят за пределы  $\pm 10$ –12%.

Перед началом состязаний у большинства испытуемых отмечалось снижение уровня эозинофилов на 40–45%. Зачастую снижение количества эозинофилов отмечается за 4 часа до начала спортивного состязания.

После тренировочных занятий по штанге, плаванию, боксу, бегу и футболу у тренированных спортсменов количество эозинофилов в периферической крови не подвергалось заметным изменениям, в то время как у новичков при меньшей тренировочной нагрузке наблюдалось отчетливое снижение количества эозинофилов. Аналогичные данные были получены и в процессе вхождения в спортивную форму. Так, например, 2-часовые тренировочные занятия по футболу в период первых выходов на поле влекут за собой снижение количества эозинофилов в периферической крови у испытуемых на 35–50%. После месячной тренировки такие занятия уже не вызывают эозинопении даже в тех случаях, когда послерабочие сдвиги в сердечно-сосудистой и дыхательной системах бывают выражены более значительно, чем при первых выходах на поле.

5-минутное пребывание в воде 18°C у лиц, не занимающихся спортом и не закаливающих себя к воздействию низкой температуры, вызывало снижение количества эозинофилов на 35–40%. После 2-недельной тренировки к охлаждению лица, ранее реагировавшие эозинопенией, не обнаруживали ее даже при более длительном пребывании в холодной воде (6–8 мин).

Адаптация организма, наблюдаемая при тренировочных занятиях, не имеет места при соревновательных нагрузках. Так, перед началом соревнований по боксу, штанге, плаванию, легкой атлетике и футболу у большинства испытуемых отмечается отчетливая эозинопения. Особенно отчетливо это наблюдается перед эмоционально-насыщенными видами спорта (бокс, футбол). Количество эозинофилов снижается в среднем на 40–50%. В ряде случаев предстартовая эозинопения отмечается за 4–8 час до начала соревнования.

После окончания соревнований у подавляющего большинства испытуемых также наблюдалась резкая и продолжительная эозинопения. Процент снижения количества эозинофилов периферической крови колебался в пределах 40–80% от их исходного уровня.

Интересно, что после соревнований по футболу (на 10-й мин после окончания матча) количество эозинофилов в периферической крови снижалось даже у вратарей, у которых не было значительной физической нагрузки.

Восстановление исходного уровня эозинофилов в периферической крови после окончания спортивных состязаний продолжалось от 6 до 36 час. После соревнований по бегу, плаванию и штанге продолжительность времени восстановления исходного уровня эозинофилов колебалась в пределах 6–8 час, после соревнований по боксу – в среднем 24–36 час [2]. При этом у тренированных спортсменов восстановление исходного уровня эозинофилов завершалось быстрее.

После специальных экспериментальных нагрузок по боксу и соревновательных боев (формула 3 раунда по 3 мин) наблюдались аналогичные по высоте физиологические сдвиги в деятельности сердечно-сосудистой системы. В обоих случаях частота пульса достигала 167 ударов в минуту, а высота артериального кровяного давления (максимального) – 165 мм рт. ст. Однако после соревнования у большинства испытуемых наблюдалась резкая эозинопения, в то время как после экспериментальной нагрузки ни у одного из испытуемых (тренированных боксеров) не было отмечено сколько-нибудь заметной эозинопении. Полученный фактический материал свидетельствует о том, что эмоциональное возбуждение при соревновательных боях по боксу носит стрессорный характер. Это положение в некоторой степени распространяется и на другие виды спорта.

Наблюдаемая за 6–12 час до начала соревнования по боксу эозинопения свидетельствует о том, что реакция «тревоги» может возникнуть и по механизму условных рефлексов задолго до непосредственного участия в соревнованиях.

При интенсивных обменных процессах, охлаждении, перегревании, напряженной мышечной работе (в частности, при занятиях спортом) и нервном напряжении, можно заметить увеличение потребности в витамине В1.

В наших исследованиях было выявлено, что витамин В1 способствует нормализации восстановительного периода после мышечной работы, связанной с сильным эмоциональным возбуждением. Исходя из этих данных, мы считали, что витамин В1 должен иметь отношение к реакции «напряжения», вызываемой эмоциональным фактором.

Под влиянием витамина В1 степень эозинопении снижается, а время восстановления исходного уровня эозинофилов значительно сокращается. Это явление наводит на мысль, что витамин В1 способен не только блокировать эозинопению, возникающую при введении АКТГ в пробе Торна, но и ускорять процесс восстановления исходного уровня эозинофилов в периферической крови при реакции «напряжения» в естественных условиях (занятиях спортом). Малые дозы витамина В1 (5–10 мг) не оказывают влияния на скорость восстановления уровня эозинофилов в крови у испытуемых после соревновательных боев.

Полученные данные свидетельствуют о том, что витамин В1 имеет определенное отношение к гормональным реакциям при реакции «напряжения», возникающей при воздействии эмоционального стрессора.

В заключение отметим, что отсутствие эозинопении у тренированных спортсменов после экспериментальных нагрузок и тренировочных занятий говорит о том, что под влиянием тренировки организм человека адаптируется к воздействию мышечной работы и последняя как бы теряет свое первоначальное (стрессовое) значение. Очевидно, способность человеческого организма поддерживать постоянство внутренней среды (гомеостазис) растет по мере тренированности человека к воздействию того или иного стрессора [3].

Резкая эозинопения, наблюдаемая как у новичков, так и у тренированных спортсменов после соревнования, свидетельствует о том, что полной адаптации к воздействию эмоционального стрессора не происходит ни при длительном занятии спортом, ни при частых выступлениях в соревнованиях. Очевидно, в основе этого лежит биологическая роль самой эмоции как мощного стимула к деятельности или, говоря



словами Дарвина, рудимента целесообразных движений и действий первобытного человека в его борьбе за существование и продолжение рода.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1 Волкова, Е.Г. Рекреационная деятельность студенческой молодежи / Е.Г. Волкова, Д.С. Григорьев, И.В. Григорьева // Вестник Воронежского института высоких технологий. - 2018. - № 2 (25). С. 154-156.

2 Григорьева, И.В. Учет индивидуальных особенностей в различных видах спорта / И.В. Григорьева, Е.Г. Волкова, Е.Н. Петров // Вестник Воронежского института высоких технологий. - 2016. - № 4 (19). С. 125-126.

3 Григорьева, И. В. Спорт и социальная активность личности / И. В. Григорьева, Е. Г. Волкова // Моделирование систем и информационные технологии: сборник научных трудов. Воронеж, - 2010.- Вып. 7. С. 364-366.

### **REFERENCES**

1 Volkova, E.G. Recreational activities of student youth / E.G. Volkova, D.S. Grigoriev, I.V. Grigorieva // Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies. - 2018. - No. 2 (25). P. 154-156.

2 Grigorieva, I.V. Taking into account individual characteristics in various sports / I.V. Grigorieva, E.G. Volkova, E.N. Petrov // Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies. - 2016. - No. 4 (19). P. 125-126.

3 Grigorieva, I.V. Sports and social activity of the individual / I.V. Grigorieva, E.G. Volkova // Modeling of systems and information technology: collection of scientific papers. Voronezh, - 2010.- Issue 7. P. 364-366.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАКСИМАЛЬНОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ КИСЛОРОДА ПРИ ПЛАВАНИИ И ПРИ РАБОТЕ НА ВЕЛОЭРГОМЕТРЕ

И. В. Григорьева<sup>1</sup>, Е. Г. Волкова<sup>2</sup>, И. А. Кондратенко<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,  
г. Воронеж, Россия  
<sup>1</sup> griiya@mail.ru

**Аннотация.** Исследование посвящено сравнительному анализу максимального потребления кислорода (МПК) при плавании и работе на велоэргометре у высококвалифицированных пловцов. Результаты подчеркивают важность учета специфики дыхания при планировании тренировочных программ и оценке аэробной производительности спортсменов.

**Ключевые слова:** максимальное потребление кислорода (МПК), плавание, велоэргометр, легочная вентиляция, газообмен, дыхательные стратегии.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF MAXIMUM OXYGEN CONSUMPTION DURING SWIMMING AND WORKING ON A CYCLE ERGOMETER

I. V. Grigorieva<sup>1</sup>, E. G. Volkova<sup>2</sup>, I. A. Kondratenko<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup> Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,  
Voronezh, Russia  
<sup>1</sup> griiya@mail.ru

**Abstract.** This study compares maximal oxygen consumption (VO<sub>2</sub>max) during swimming and cycling in highly trained swimmers. The results highlight the importance of considering the specifics of breathing when planning training programs and assessing athletes' aerobic performance.

**Keywords:** maximum oxygen consumption (VO<sub>2</sub>max), swimming, bicycle ergometer, pulmonary ventilation, gas exchange, breathing strategies.

Исследования многих авторов показали, что величина максимального потребления кислорода (МПК) характеризует состояние аэробной производительности организма спортсмена. Величины МПК достигаются при значительной вентиляции легких – 150–200 л/мин. По данным авторов, проводивших исследования с пловцами, легочная вентиляция при определении МПК характеризуется для взрослых пловцов величинами 100–120 л/мин.

В исследовании, выполненном на одних и тех же спортсменах, изучались величины МПК при различных типах мышечной деятельности, включая и плавание. Наибольшие величины МПК были отмечены при работе на велоэргометре и при беге на тредбане, наименьшие – при плавании. Разница величин МПК, полученных на велоэргометре и в воде, составляла 0,57 л при различии в легочной вентиляции 38 л. Эта работа вызвала дискуссию о специфичности работы для определения МПК.

В первой части излагаемого исследования проводится сравнение МПК при плавании и при работе на велоэргометре [1]. Во второй части работы излагаются результаты изучения МПК во время плавания с разным уровнем вентиляции легких и после проплыwania дистанции в первые 15–30 секунд восстановления.

Исследования были проведены на 12 высококвалифицированных пловцах в возрасте 16 – 25 лет. Состав выдыхаемого воздуха определялся по методу Дугласа – Холдена). Для определения газообмена при плавании была сконструирована система «загубник-клапанкран» таким образом, чтобы создавать наименьшее сопротивление при плавании. С этой целью вдыхательный и выдыхательный клапан были размещены в вертикально направленных от загубника трубах вдоха и выдоха. Система крепилась на голове испытуемого при помощи резинового подбородника и наголовника. Выдыхаемый воздух поступал по гибкому шлангу сечением 30 мм через трехходовой кран в мешок Дугласа, который находился на спине экспериментатора, сопровождавшего испытуемого вдоль бортика бассейна. Мертвое пространство «загубника-клапана» составляло 70 мл. Величины МПК определялись в воде при плавании 3×200 м способом кроль на груди с производными интервалами отдыха между дистанциями. Первые 200 м испытуемый проплывал в свободном темпе; вторые – в умеренном и последние – с возрастающей скоростью до максимума к последним 50 м дистанции. Забор выдыхаемого воздуха осуществлялся во время проплывания последних 50 м и в первые 15 – 30 секунд восстановления.

Определение величин МПК на велоэргометре производилось после 10-минутной разминки, нагрузка во время которой составляла 60—70% от той, которая соответствовала МПК с частотой педалирования 70 оборотов в минуту. После 3-минутного отдыха выполнялась 4-минутная работа со ступенчатым увеличением нагрузки и частоты педалирования на каждой минуте. На 4-й мин работы испытуемый увеличивал частоту педалирования до 100—110 об/мин; во время последних 30 секунд ускорения производился забор выдыхаемого воздуха.

Исследования величин МПК при плавании и при работе на велоэргометре показали, что различия в значениях МПК, полученных при плавании и на велоэргометре, незначительны [3]. Средняя величина МПК при плавании была  $4,9 \pm 0,23$  л/мин, а при работе на велоэргометре  $4,83 \pm 0,44$  л/мин. Различия в величинах МПК были статистически недостоверны. Однако, несмотря на равенство средних величин МПК, плавание характеризовалось меньшей вентиляцией ( $129 \pm 9,1$  л/мин), чем работа на велоэргометре ( $152 \pm 12,0$  л/мин); разница в легочной вентиляции составляла 23 л. Наряду с этим процент потребления кислорода при плавании был несколько выше ( $4,1 \pm 0,3\%$ ), чем при работе на велоэргометре ( $3,9 \pm 0,4\%$ ).

Можно отметить исключительно высокие цифры МПК у пловцов в первые 15 секунд восстановления после работы максимальной интенсивности: 5,69—6,09 л/мин; 90,2—91,1 мл/кг веса. Эти величины принимаются за показатели рабочего МПК.

Нами было проведено сравнение величин рабочего МПК во время плавания с величинами кислородного потребления в первые 15 – 30 секунд восстановления [2]. Условия опытов варьировали. В первом варианте условия соответствовали тем, при которых проводилось определение МПК во время плавания и в течение 15 секунд восстановления. Во втором варианте испытуемому давалось указание несколько сдерживать легочную вентиляцию и дышать в соответствии с частотой гребков. В третьем варианте, наоборот, испытуемый должен был усилить вентиляцию легких. В четвертом варианте испытуемый плыл без дыхательной маски, совершая, как обычно, вдох над водой и выдох под водой. Немедленно по окончании плавания с максимальной скоростью он подключался к дыхательной маске для забора выдыхаемого воздуха в первые 15 секунд восстановления, так же как это происходило в предыдущих вариантах [3]. Оказалось, что величины потребления кислорода в первые 15 секунд восстановления зависят от уровня легочной вентиляции во время плавания. Коэффициент корреляции между вентиляцией на дистанции и потреблением кислорода во время восстановления был равен 0,892.

Увеличение потребления кислорода в первые 15 секунд восстановления происходит только после недостаточной вентиляции при работе. Это подтверждается и исследованием МПК на велоэргометре, где нами не было получено увеличения уровня потребления кислорода в первые секунды восстановления (легочная вентиляция на велоэргометре для 6 случаев была равна в среднем  $172 \pm 11$  л/мин). Вероятно, по величине относительного увеличения потребления кислорода в первые 15 секунд восстановления можно судить о степени вентиляции во время работы. С этой целью в воде было проведено у тех же испытуемых измерение величин потребления кислорода в первые 15 секунд восстановления после выполнения работы на определение МПК без маски [4].

Предполагалось, что плавание в маске увеличивает легочную вентиляцию вследствие меньшего ограничения времени вдоха. Полученная величина кислородного потребления  $5,71 \pm 0,48$  л/мин. Этот показатель подтверждает наше предположение. Следовательно, плавание в естественных условиях характеризуется более низкими величинами легочной вентиляции, чем те, которые получаются при исследованиях газообмена у пловцов с использованием масок и клапанных систем.

1. Различия в величинах МПК, полученных при плавании и при работе на велоэргометре, были статистически недостоверны.

2. Следует различать величины МПК, полученные во время работы и в первые 15 секунд восстановления после нагрузки, соответствующей определению МПК. Величины МПК в первые 15 секунд, восстановления могут до 33,5% превышать величины МПК работы.

3. Величина МПК в первые 15 секунд восстановления после работы, характерной для определения МПК, была тем большей, чем больше была гиповентиляция во время работы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Григорьева, И.В. Учет индивидуальных особенностей в различных видах спорта / И.В. Григорьева, Е.Г. Волкова, Е.Н. Петров // Вестник Воронежского института высоких технологий. - 2016. - № 4 (19). С. 125-126.

2 Волкова, Е.Г. Рекреационная деятельность студенческой молодежи / Е.Г. Волкова, Д.С. Григорьев, И.В. Григорьева // Вестник Воронежского института высоких технологий. - 2018. - № 2 (25). С. 154-156.

3 Волкова, Е.Г. Роль физической культуры в укреплении здоровья студентов / Е.Г. Волкова, И.В. Григорьева, Е.Н. Петров // Вестник Воронежского института высоких технологий. - 2020. - № 1 (32). С. 65-67.

4 Григорьева, И. В. Спорт и социальная активность личности / И. В. Григорьева, Е. Г. Волкова // Моделирование систем и информационные технологии: сборник научных трудов. Воронеж, - 2010.- Вып. 7. С. 364-366.

## REFERENCES

1 Grigorieva, I.V. Taking into account individual characteristics in various sports / I.V. Grigorieva, E.G. Volkova, E.N. Petrov // Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies. - 2016. - No. 4 (19). P. 125-126.

2 Volkova, E.G. Recreational activities of student youth / E.G. Volkova, D.S. Grigoriev, I.V. Grigorieva // Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies. - 2018. - No. 2 (25). P. 154-156.

3 Volkova, E.G. The role of physical education in strengthening the health of students / E.G. Volkova, I.V. Grigorieva, E.N. Petrov // Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies. - 2020. - No. 1 (32). P. 65-67.

4 Grigorieva, I.V. Sports and social activity of the individual / I.V. Grigorieva, E.G. Volkova // Modeling of systems and information technology: collection of scientific papers. Voronezh, - 2010.- Issue 7. P. 364-366.

## ИНТЕГРАЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС

Ф.А. Шакина<sup>1</sup>, И.В. Терехина<sup>2</sup>, С.А. Швырев<sup>3</sup>, М.М. Рыбникова<sup>4</sup>, Д.А. Жайворонок<sup>5</sup>  
<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,  
г. Воронеж, Россия

Автор, ответственный за переписку: Денис Александрович Жайворонок, dzhaivoronok@bk.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается актуальная проблема интеграции современных образовательных технологий в учебный процесс высших учебных заведений. Анализируются ключевые технологические тренды, такие как смешанное обучение, использование искусственного интеллекта и цифровых симуляторов. Особое внимание уделяется методическим и организационным вызовам, сопровождающим этот процесс, и предлагаются возможные пути их преодоления для повышения эффективности и качества образования.

**Ключевые слова:** образовательные технологии, цифровизация, высшее образование, смешанное обучение, искусственный интеллект (ИИ), учебный процесс, педагогический дизайн.

## INTEGRATION OF MODERN EDUCATIONAL TECHNOLOGIES IN TO THE EDUCATIONAL PROCESS

F.A. Shakina<sup>1</sup>, I.V. Terekhina<sup>2</sup>, S.A. Shvyrev<sup>3</sup>, M.M. Rybnikova<sup>4</sup>, D.A. Zhayvoronok<sup>5</sup>  
<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,  
Voronezh, Russia

The author responsible for the correspondence: Denis Alexandrovich Zhayvoronok,  
dzhaivoro-nok@bk.ru

**Abstract.** The article discusses the urgent problem of integrating modern educational technologies into the educational process of higher education institutions. Key technological trends such as blended learning, the use of artificial intelligence and digital simulators are analyzed. Special attention is paid to the methodological and organizational challenges that accompany this process, and possible ways to overcome them are proposed to improve the effectiveness and quality of education.

**Keywords:** educational technologies, digitalization, higher education, blended learning, artificial intelligence (AI), educational process, pedagogical design.

Современная эпоха характеризуется стремительным развитием цифровых технологий, которые проникают во все сферы человеческой деятельности, включая образование. Традиционная парадигма высшего образования, основанная на пассивной передаче знаний от преподавателя к студенту, перестает отвечать вызовам времени. Работодатели требуют от выпускников не только фундаментальных знаний, но и soft skills (гибких навыков), цифровой грамотности, способности к самообучению и работе в быстро меняющихся условиях. Ответом на эти вызовы является глубокая интеграция современных образовательных технологий (EdTech) в учебный процесс, которая трансформирует его содержание, методы и организационные формы [1].

Интеграция технологий – это не просто оснащение аудиторий проекторами и подключение к интернету. Это системный пересмотр всего учебного процесса,

направленный на создание гибкой, персонализированной и практико-ориентированной образовательной среды. Проведем анализ основных векторов этой интеграции, выделим ключевые технологии и рассмотрим комплекс сопутствующих методических и организационных проблем.

Интеграция технологий происходит по нескольким взаимосвязанным направлениям, каждое из которых вносит свой вклад в модернизацию учебного процесса:

- Смешанное обучение (Blended Learning). Данная модель наиболее популярна в современном образовании, гармонично сочетает традиционные очные занятия и онлайн-активность. Суть смешанного обучения (СО) заключается в переносе ряда элементов учебного процесса (изучение теоретического материала, тестирование, выполнение заданий, обсуждения) в цифровую среду, чаще всего в систему управления обучением (LMS), такую как Moodle, Canvas, Blackboard [2].

Основными преимуществами СО являются следующие особенности:

а) Гибкость. Студенты могут изучать материалы в удобном для себя темпе и месте.

б) Индивидуализация. Преподаватель может предлагать дополнительные материалы для отстающих и усложненные задания для успевающих студентов.

в) Высвобождение аудиторного времени. Перенос лекционного контента в онлайн позволяет использовать очные занятия для интерактивных форм работы, например, дискуссий, групповых проектов, решения практических задач и т.д.

- Активное использование инструментов искусственного интеллекта (ИИ). ИИ перестает быть футуристической концепцией и становится реальным инструментом в арсенале преподавателя и студента.

а) Адаптивное обучение. ИИ-платформы могут анализировать ответы студента и подбирать ему индивидуальную образовательную траекторию, предлагая материалы именно тех тем, где есть пробелы в знаниях.

б) Автоматизация проверки заданий. ИИ способен проверять тесты, а в некоторых случаях и простые письменные работы (эссе), экономя время преподавателя для более творческой и содержательной обратной связи.

в) Интеллектуальные чат-боты. Они могут выступать в роли виртуальных ассистентов, отвечая на типовые вопросы студентов 24/7 по содержанию курса, срокам сдачи работ и организационным моментам.

- Внедрение иммерсивных технологий (ИТ) (VR/AR) и цифровых симуляторов, «погружающих», «создающих эффект присутствия». Такие технологии вовлекают человека, заставляя его почувствовать себя частью происходящего. Для инженерных, медицинских, естественнонаучных и других практических специальностей технологии виртуальной (VR) и дополненной (AR) реальности открывают принципиально новые возможности [3].

а) VR-тренажеры позволяют отрабатывать сложные и опасные навыки без риска для жизни и здоровья, а также без затрат на дорогостоящее оборудование и материалы (например, управление самолетом, проведение хирургической операции, работа на химическом производстве).

б) AR-приложения могут «оживлять» учебники, показывая 3D-модели механизмов или анатомические схемы, накладывая цифровую информацию на физические объекты.

- Развитие проектной деятельности в цифровой среде. Современные инструменты для коллаборации (Trello, Asana, Miro, Google Workspace) становятся неотъемлемой частью учебного процесса. Студенты учатся работать в распределенных командах, управлять проектами в цифровом пространстве, что напрямую соответствует требованиям современного рынка труда.

Несмотря на очевидные преимущества, процесс интеграции технологий сталкивается с рядом серьезных препятствий:

- Кадровый вызов. Многие преподаватели, особенно старших поколений, не готовы к активному использованию новых технологий. Требуется не разовое повышение квалификации, а постоянная методическая и техническая поддержка.

- Методический вакуум. Закупка дорогостоящего программного обеспечения сама по себе не гарантирует повышения качества образования. Необходима кропотливая работа по педагогическому дизайну – перепроектированию курсов с учетом новых возможностей.

- Цифровое неравенство. Не все студенты имеют равный доступ к качественному интернету и современным устройствам, что может усугублять социальное неравенство.

- Риск цифрового выгорания. Постоянное нахождение в цифровой среде, необходимость отслеживать множество уведомлений и каналов коммуникации может приводить к перегрузке и студентов, и преподавателей.

- Проблема оценки эффективности. Сложно разработать объективные критерии, позволяющие оценить, действительно ли новая технология повысила уровень освоения компетенций по сравнению с традиционными методами.

Особенности интеграции современных образовательных технологий в учебный процесс представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Интеграция современных образовательных технологий в учебный процесс  
Table 1 – Integration of modern educational technologies into the educational process

Аспект интеграции	Основные технологии / Проблемы	Сущность / Характеристики	Ожидаемый результат / Последствия
Основные направления интеграции (Тренды)	CO (Blended Learning)	Сочетание очного обучения с онлайн-активностью через LMS (Moodle, Canvas)	Гибкость, индивидуализация траектории обучения, высвобождение времени для интерактива
	Инструменты ИИ	Адаптивные платформы, автоматизация проверки заданий, интеллектуальные чат-боты	Персонализация обучения, разгрузка преподавателя, круглосуточная поддержка студентов
	ИТ (VR/AR) и симуляторы	Виртуальные тренажеры для отработки навыков, дополненная реальность для визуализации	Безопасное освоение сложных/опасных практик, углубленное понимание через визуализацию
	Цифровые инструменты проектной деятельности	Приложения для коллаборации (Miro, Trello, Google Workspace)	Развитие навыков удаленной работы в команде и управления проектами
Ключевые вызовы и проблемы	Кадровый вызов	Неготовность части преподавательского состава к активному использованию новых технологий	Замедление внедрения инноваций, формальное использование технологий

	Методический вакуум	Нехватка проработанных методик и педагогического дизайна для интеграции технологий в курс	Технологии используются неэффективно, не приводя к реальному повышению качества образования
	Цифровое неравенство	Неравный доступ студентов к качественному интернету и современным устройствам	Усиление социального неравенства среди обучающихся
	Риск цифрового выгорания	Перегрузка из-за постоянной работы в цифровой среде и многозадачности	Снижение мотивации и продуктивности у студентов и преподавателей
	Оценка эффективности	Сложность измерения реального вклада технологий в формирование компетенций	Невозможность объективно оценить рентабельность инвестиций в EdTech
Пути преодоления и решения	Инвестиции в кадры	Создание центров педагогического мастерства, постоянная методическая поддержка, система мотивации	Формирование сообщества преподавателей-инноваторов, рост педагогической ИТ-грамотности
	Разработка педагогического дизайна	Проектирование учебных курсов с учетом возможностей конкретных технологий	Создание качественных, целостных и эффективных образовательных продуктов.
	Развитие инфраструктуры и поддержки	Обеспечение студентов доступом к технике, развитие цифровой гигиены, технический суппорт	Снижение барьеров для участия в учебном процессе и профилактика выгорания
	Внедрение комплексной оценки	Разработка KPI, учитывающих не только академические результаты, но и развитие soft skills	Получение объективных данных для принятия управленческих решений по развитию образовательных программ

Таким образом, интеграция современных образовательных технологий в учебный процесс – это необратимый и необходимый процесс, определяющий конкурентоспособность высшего образования в XXI веке. Это сложный, многогранный путь, требующий системного подхода и значительных инвестиций не только в технику, но и, в первую очередь, в людей.

Успех интеграции зависит от единства трех составляющих: административной воли руководства вуза, готового создавать инфраструктуру и стимулировать инновации; профессиональной готовности преподавательского состава осваивать новые инструменты и переосмысливать свою педагогическую деятельность; активной вовлеченности студентов, которые становятся не пассивными получателями, а соавторами образовательного процесса [4].

Преодоление сопутствующих вызовов возможно через создание центров педагогического мастерства, внедрение грамотной системы мотивации преподавателей, развитие цифровой гигиены и фокусировку на педагогическом дизайне, представляющего собой систематический подход к созданию эффективных



образовательных программ и материалов, который включает в себя: проектирование учебного процесса, а не только визуальное оформление; использование педагогических и психологических принципов для достижения конкретных целей обучения, делая процесс более результативным и увлекательным для ученика. Только в этом случае технологии станут не самоцелью, а эффективным инструментом для подготовки высококвалифицированных, адаптивных и творческих специалистов, готовых к вызовам будущего.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации» // Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации : [сайт]. – Москва, [2024].
2. Бейтс, Э. У. (Тони). *Teaching in a Digital Age: Guidelines for Designing Teaching and Learning*. – 2nd Edition. – Vancouver, BC: Tony Bates Associates Ltd., 2019.
3. Роберт, И. В. Теория и методика информатизации образования (психолого-педагогический и технологический аспекты) : монография / И. В. Роберт. – Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. – 350 с.
4. Хуторской, А. В. Современная дидактика : учебник для вузов / А. В. Хуторской. – Санкт-Петербург : Питер, 2021. – 250 с.
5. *The Handbook of Blended Learning: Global Perspectives, Local Designs* / edited by C. J. Bonk, C. R. Graham. – San Francisco : Pfeiffer, 2006. – 624 с.
6. Аверченко, Л. К., Доронина, И. В., Иванова, Л. Н. Имитационная деловая игра как метод развития профессиональных компетенций // *Высшее образование сегодня*. – 2013. – № 6. – С. 35–39.
7. Вилкова, И. А. Современные образовательные технологии в обучении студентов учреждений среднего профессионального образования // *Царскосельские чтения*. – 2016.

## REFERENCES

1. National Program «Digital Economy of the Russian Federation» // Ministry of Digital Development, Communications and Mass Media of the Russian Federation : [website]. – Moscow, [2024].
2. Bates, E. W. (Tony). *Teaching in a Digital Age: Guidelines for Designing Teaching and Learning*. – 2nd Edition. – Vancouver, BC: Tony Bates Associates Ltd., 2019.
3. Robert, I. V. Theory and methodology of informatization of education (psychological, pedagogical and technological aspects) : monograph / I. V. Robert. – Moscow : BINOM. Laboratory of Knowledge, 2014. 350 p.
4. Khutorskoy, A.V. Modern didactics : a textbook for universities / A.V. Khutorskoy. – St. Petersburg : Peter, 2021. – 250 p.
5. *The Handbook of Blended Learning: Global Perspectives, Local Designs* / edited by C. J. Bonk, C. R. Graham. – San Francisco : Pfeiffer, 2006. – 624 p.
6. Averchenko, L. K., Doronina, I. V., Ivanova, L. N. Imitation business game as a method of professional competence development // *Higher education today*. - 2013. – No. 6. – pp. 35-39.
7. Vilkova, I. A. Modern educational technologies in teaching students of secondary vocational education institutions // *Tsarskoye Selo readings*. – 2016.

## АКТУАЛИЗАЦИЯ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО МОДУЛЯ «МЕХАТРОННЫЙ ГИДРОПРИВОД ТРАНСПОРТНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН»

А.В. Кучин<sup>1</sup>, В.Д. Лебедев<sup>2</sup>, С.А. Красоткин<sup>3</sup>, М.Д. Кашин<sup>4</sup>

<sup>1,2,4</sup> Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, г.Архангельск, Россия

<sup>3</sup> ООО «СМАРТ Автоматизация», г.Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Александр Ванипакович Кучин, a.kuchin@narfu.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы текущей актуализации учебного модуля «Мехатронный гидропривод транспортно-технологических машин» на основе введения дополнительной дисциплины «Основы систем управления непрерывными процессами» для основных профессиональных образовательных программ по направлениям подготовки 15.03.02 и 23.03.03.

**Ключевые слова:** мехатронный гидропривод, управление непрерывными процессами, дидактическая структура, промышленная автоматика, профессиональные компетенции.

## UPDATING OF THE INTERDISCIPLINARY PROFESSIONAL MODULE «MECHATRONIC HYDRAULIC DRIVE OF TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MACHINES»

A. V. Kouchine<sup>1</sup>, V.D. Lebedev<sup>2</sup>, S.A. Krasotkin<sup>3</sup>, M.D. Kashin<sup>4</sup>

<sup>1,2,4</sup> Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia

<sup>3</sup> SMART Automation Ltd, Saint-Petersburg, Russia

The author responsible for the correspondence: Alexander Vanipakovich Kuchin,  
a.kuchin@narfu.ru

**Abstract.** The article considers the issues of the current updating of the training module «Mechatronic hydraulic drive of transport and technological machines» based on the introduction of the additional discipline «Fundamentals of continuous process control systems» for the main professional educational programs in the areas of preparation 15.03.02 and 23.03.03.

**Keywords:** mechatronic hydraulic drive, continuous process control, didactic structure, industrial automation, professional competencies.

В Приарктическом регионе Российской Федерации, практически во всех сферах народного хозяйства (дорожно-строительная и сельскохозяйственная отрасли, транспортный и лесозаготовительный комплексы, разведка и добыча природных ресурсов, коммунальное хозяйство) широко используются транспортно-технологические машины (ТТМ), оснащенные высокотехнологичным мехатронным приводом. Постоянное совершенствование конструкции ТТМ, использование искусственного интеллекта (ИИ) в системах управления ТТМ и цифровизации процесса их эффективного использования предъявляют постоянно возрастающие требования к содержанию основных образовательных программ подготовки специалистов по технической эксплуатации.

В образовательных программах подготовки инженерных специалистов, обучающихся в Северном (Арктическом) федеральном университете им. М.В. Ломоносова по направлениям подготовки 15.03.02 и 23.03.03, с 2015 года используется междисциплинарный профессиональный модуль «Мехатронный гидропривод транспортно-технологических машин» [1, 2, 3, 4]. Модуль предполагает следующую дидактическую последовательность освоения учебной программы:

- теоретическая гидромеханика;
- элементная база гидроавтоматики;
- системы электрогидроавтоматики;
- сервис и эксплуатация мехатронных систем.

Процессы внедрения ИИ в технические системы и цифровизация процесса их эксплуатации создают предпосылки для актуализации образовательных программ подготовки инженерных кадров. Эта тенденция была принята за основу при проведении текущей актуализации учебного модуля «Мехатронный гидропривод транспортно-технологических машин». На кафедре инжиниринга транспортно-технологических машин и оборудования САФУ имени М.В. Ломоносова было принято решение добавить в учебный модуль дисциплину «Основы систем управления непрерывными процессами».

Данный учебный курс позволяет познакомить обучающихся с основами функционирования систем с замкнутым контуром. Такие системы используют обратную связь для динамической корректировки своего функционирования. Их работа основана на сравнении фактического значения выходного параметра с заданным, и обеспечивает автоматическое исправление отклонения выходного параметра для поддержки желаемого состояния. Это позволяет системам достигать высокой точности, компенсировать внешние возмущения и работать автономно, в отличие от разомкнутых систем, которые функционируют без обратной связи.

На таком принципе функционирует большинство непрерывных технических процессов. Наиболее яркими примерами можно назвать:

- термостат в холодильной установке - поддерживает постоянную температуру, включая и выключая систему охлаждения при изменении;
- тормозная система транспортного средства - поддерживает рабочее давление в гидропневмоаккумуляторе, включая и выключая систему нагнетания воздуха при выходе из диапазона рабочего давления в системе;
- линия водоснабжения - поддерживает рабочее давление в напорной сети, увеличивая/уменьшая производительность нагнетательного насоса при изменении расхода и т.п.

В рамках курса рассматриваются компоненты и звенья, характерные для большинства видов систем с обратной связью. Подробно рассматриваются способы, средства анализа и решения проблем управления.

Дидактическая структура курса включает следующие четыре раздела:

- принцип работы основных звеньев системы управления (пропорционального, интегрального, дифференциального);
- воздействие основных звеньев системы управления и их комбинаций на объекты регулирования;
- принцип работы ПИД (пропорционально-интегрально-дифференциального) регулятора;
- варианты настройки ПИД-регулятора, в том числе по методу Циглера-Николса.

В качестве лабораторной базы для курса используются учебные стенды «Промышленная автоматика. Автоматизация непрерывных процессов» производства компании «СМАРТ-Автоматизация» (рисунок 1). Этот стенд является уникальным по

ряду характеристик и концепции дидактической логики учебного процесса. Концепция стенда предполагает контроль и управления такими параметрами жидкости, как температура, давление, расход и уровень. Гидравлическая схема стенда позволяет реализовать несколько контуров управления. Управление исполнительными устройствами и данные с датчиков обрабатываются в реальном времени устройством, в котором интегрирован цифро-аналоговый и аналого-цифровой преобразователь (ЦАП/АЦП), работающий под управлением программного комплекса и позволяющий реализовывать комплекс различных задач: от дискретного управления до систем с обратной связью. Конструкция стенда позволяет дополнять базовую комплектацию дополнительными датчиками и исполнительными устройствами в рамках практических и лабораторных занятий по дисциплине, и обеспечивать многократную сборку/разборку схем лабораторных работ благодаря использованию быстросъемных фитингов и штуцеров.



Рисунок 1. Учебный стенд «Промышленная автоматика. Автоматизация непрерывных процессов»

Figure 1. Training stand «Industrial automation. Automation of continuous processes»

Использование стенда позволяет приобрести практические навыки (знания/умения) по следующим темам:

- проектирование, сборка и наладка систем автоматизации непрерывных процессов;
- управление непрерывными процессами;
- настройка промышленных датчиков и ПИД-регуляторов.

Введение в междисциплинарный профессиональный модуль «Мехатронный гидропривод транспортно-технологических машин» дополнительной дисциплины «Основы систем управления непрерывными процессами» обеспечит формирование более высокого уровня профессиональных компетенций, заложенных в качестве показателей освоения основных профессиональных образовательных программ по направлениям подготовки 15.03.02 и 23.03.03. Это такие профессиональные

компетенции, как ПК-12 (способность участия в работах по доводке и освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новой продукции, осуществления монтажа, наладки, испытания и сдачи в эксплуатацию технологического оборудования) и ПК-13 (способность проверки технического состояния и остаточного ресурса технологического оборудования, организации профилактического осмотра и текущего ремонта технологических машин и оборудования) для направления подготовки 15.03.02 и ПК-11 (способность к проведению контроля технического состояния автотранспортных/ транспортно-технологических средств) и ПК-12 (способность к проведению обслуживания и ремонта мехатронных систем автотранспортных/ транспортно-технологических средств и оборудования) для направления подготовки 23.03.03.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Лебедев, В.Д. Профессиональный модуль «мехатронный гидропривод транспортно-технологических машин» / В.Д. Лебедев, А.В. Кучин, А.А. Елепов. - Текст: непосредственный // Сборник: Сетевое партнерство в науке, промышленности и образовании: труды Международной мультikonференции. – Санкт-Петербург, 2016. – С. 37–44.

2 Лебедев, В.Д. Междисциплинарный профессиональный модуль «Мехатронный гидропривод лесозаготовительных комплексов» / В.Д. Лебедев, А.В. Кучин, А.А. Елепов. - Текст: непосредственный // Сборник: Профессиональная подготовка высококвалифицированных кадров для эксплуатации многооперационных лесозаготовительных машин. - Архангельск: Изд-во Васильев И.А., 2016. – С. 52–59.

3 Лебедев, В.Д. Профессиональный модуль «Мехатронный гидропривод дорожно-строительной и карьерной техники» / В.Д. Лебедев, А.В. Кучин, А.А. Елепов. - Текст: непосредственный // Сборник: Современные проблемы строительства и жизнеобеспечения: безопасность, качество, энерго- и ресурсосбережения: Сборник статей IV Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 60-летию Инженерно-технического института СВФУ им. М.К. Аммосова, Якутск; под ред. доц. А.Е. Саввиной. – Киров: МЦНИП, 2016. – С. 34–40.

4 Лебедев, В.Д. Профессиональный модуль «Мехатронный гидропривод» транспортно-технологических машин (лесозаготовительные машины) / В.Д. Лебедев, А.В. Кучин, А.А. Елепов. – Текст: непосредственный // Сборник: Эксплуатация и сервис многооперационных лесозаготовительных комплексов John Deere. – Архангельск: Изд-во Васильев И.А., 2017. – С. 36–39.

## REFERENCES

1 Lebedev, V.D. Professional module «mechatronic hydraulic drive of transport and technological machines» / V.D. Lebedev, A.V. Kuchin, A.A. Yelepov. - Text: direct // Collection: Network partnership in science, industry and education: proceedings of the International Multi-Conference. – St. Petersburg, 2016. – pp. 37-44.

2 Lebedev, V.D. Interdisciplinary professional module «Mechatronic hydraulic drive of logging complexes» / V.D. Lebedev, A.V. Kuchin, A.A. Yelepov. - Text: direct // Collection: Professional training of highly qualified personnel for the operation of multi-operational logging machines. Arkhangelsk: Publishing house Vasiliev I.A., 2016. pp. 52-59.

3 Lebedev, V.D. Professional module «Mechatronic hydraulic drive of road construction and quarry equipment» / V.D. Lebedev, A.V. Kuchin, A.A. Yelepov. - Text: direct // Collection: Modern problems of construction and life support: safety, quality, energy and resource conservation: Collection of articles of the IV All-Russian Scientific and Practical Conference dedicated to the 60th anniversary of the Ammosov NEFU Institute of Engineering and Technology, Yakutsk; edited by Associate Professor A.E. Savvina. Kirov: MTSNIP, 2016. pp. 34-40.

4 Lebedev, V.D. Professional module «Mechatronic hydraulic drive» of transport and technological machines (logging machines) / V.D. Lebedev, A.V. Kuchin, A.A. Yelepov. – Text: direct // Collection: Operation and service of John Deere multi-operational logging complexes. Arkhangelsk: Publishing house Vasiliev I.A., 2017. pp. 36-39.

## КЕЙС-СТАДИ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «ЭЛЕКТРОТЕХНИКА»

К. С. Колосов <sup>1</sup>, Е. Н. Лушникова <sup>2</sup>, С. В. Внукова <sup>3</sup>  
<sup>1, 2, 3</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет  
имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, Россия  
<sup>1</sup> kirya.kolosov.2002@mail.ru  
<sup>2</sup> lushnikova.elena.59@gmail.com  
<sup>3</sup> vnukovasv@vglta.vrn.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается актуальность и преимущества применения метода кейс-стади в процессе изучения дисциплины «Электротехника». Анализируются возможности метода в развитии критического мышления, применении теоретических знаний на практике и формировании навыков решения реальных инженерных задач. Подчеркивается способность кейс-стади стимулировать интерес к предмету и повышать вовлеченность студентов в учебный процесс.

**Ключевые слова:** кейс-стади, активные методы обучения, электротехника, инженерное образование, критическое мышление.

## CASE-STUDY AS A TOOL FOR INCREASING THE EFFECTIVENESS OF STUDYING THE DISCIPLINE «ELECTRICAL ENGINEERING»

K. S. Kolosov <sup>1</sup>, E. N. Lushnikova <sup>2</sup>, S. V. Vnukova <sup>3</sup>  
<sup>1, 2, 3</sup> Voronezh State University of Forestry and Technologies  
named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia  
<sup>1</sup> kirya.kolosov.2002@mail.ru  
<sup>2</sup> lushnikova.elena.59@gmail.com  
<sup>3</sup> vnukovasv@vglta.vrn.ru

**Abstract.** The article discusses the relevance and advantages of using the case-study method in the process of studying the discipline of Electrical Engineering. It analyzes the possibilities of the method in developing critical thinking, applying theoretical knowledge in practice, and forming skills for solving real engineering problems. The article emphasizes the ability of case-studies to stimulate interest in the subject and increase students' involvement in the learning process.

**Keywords:** case-studies, active learning methods, electrical engineering, engineering education, critical thinking.

Электротехника – многогранная, фундаментальная дисциплина, лежащая в основе современной промышленности и технологий. Поэтому современное электротехническое образование требует от выпускников не только теоретических знаний, но и умения применять их на практике, анализировать сложные технические задачи и находить оптимальные решения. Традиционные методы обучения, основанные на лекциях и лабораторных работах, зачастую оказываются недостаточными для формирования необходимых инженерных компетенций. В связи с этим, возникает необходимость поиска и внедрения новых активных методов обучения, способствующих более

эффективному усвоению материала и формированию практических навыков. Одним из таких методов является кейс-стади, который позволяет погрузить обучающихся в реальные инженерные ситуации и создать условия для применения теоретических знаний на практике. Данный метод зарекомендовал себя как постоянно развивающийся подход, который приобретает все большую актуальность [1-7].

Целью данной статьи является рассмотрение возможностей и преимуществ использования метода кейс-стади в процессе изучения дисциплины «Электротехника» для повышения эффективности обучения, формирования практических навыков и инженерного мышления у студентов.

Кейс-стади (от англ. case study – изучение случая) представляет собой подробное описание реальной ситуации, основанное на фактических данных, с которыми сталкиваются специалисты в электротехнической отрасли. Этот метод не является чем-то принципиально новым, он существует уже давно [1-5, 7]. Однако, его применение и значимость переживают настоящий новый виток развития [6].

Метод кейс-стади является эффективным инструментом изучения дисциплины «Электротехника». Он представляет собой решение сложных, многогранных задач, которые требуют комплексного подхода, а, следовательно, обладает рядом преимуществ перед традиционными методами.

Практическая направленность (перенос теоретических знаний в практическую плоскость): Обучающиеся сталкиваются с реальными ситуациями, в которых нужно применять полученные знания для анализа проблемы, выработки решений и оценки их эффективности. В качестве кейса можно предложить проблему перегрева трансформатора на подстанции. Студенты должны проанализировать параметры нагрузки, систему охлаждения, состояние изоляции и предложить оптимальные решения для снижения температуры оборудования.

Развитие критического мышления: Анализ кейсов требует от обучающихся критического подхода к проблеме, умения выявлять ключевые факторы и связи, а также оценивать различные варианты решений. Возвращаясь к примеру с трансформатором, студенты должны оценить, является ли перегрузка трансформатора систематической или кратковременной, связано ли это с изменением графика нагрузки, износом оборудования или другими факторами.

Междисциплинарность: Кейсы часто затрагивают вопросы, требующие знаний из различных областей, что способствует формированию целостного взгляда на проблему.

Повышение вовлеченности: Реальные истории и проблемы делают процесс обучения более интересным и увлекательным. Интерактивный формат работы с кейсами, как правило, вызывает больший интерес у обучающихся, чем традиционные лекции. Они активно участвуют в обсуждении, высказывают свои мнения и аргументируют свою точку зрения. Таким образом обучающиеся ощущают себя участниками процесса принятия решений и чувствуют ответственность за результат. Кроме того, анализ успешных и неудачных кейсов позволяет студентам учиться на чужом опыте и избегать ошибок в своей будущей работе.

Развитие навыков командной работы: Многие кейсы предполагают работу в команде, что позволяет обучающимся научиться эффективно взаимодействовать с другими, распределять обязанности и совместно находить оптимальное решение. Это позволяет им развивать коммуникативные навыки, навыки аргументации, убеждения и компромисса.

Формирование профессиональной компетенции: Кейс-стади способствует формированию у обучающихся профессиональных компетенций, необходимых для успешной работы в электротехнической отрасли. Они учатся принимать решения в

условиях неопределенности, учитывать экономические и социальные факторы, а также оценивать риски.

Использование кейс-стади в электротехнике позволяет смоделировать реальные ситуации, с которыми обучающиеся столкнутся в своей будущей профессиональной деятельности. Это может быть проектирование электрических сетей, анализ нештатных ситуаций в энергосистемах, разработка систем автоматического управления электроприводами и т.д. Важно, чтобы кейсы были достаточно сложными и многогранными, требующими применения различных теоретических знаний и инженерных навыков.

В контексте изучения дисциплины «Электротехника» на автомобильном факультете, кейс-метод позволяет смоделировать типичные неисправности и поломки электрооборудования автомобиля, с которыми будущие специалисты могут столкнуться в своей профессиональной деятельности. Например, необходимо провести анализ работы системы зарядки аккумулятора. Кейс может описывать ситуацию, когда аккумуляторная батарея автомобиля разряжается во время эксплуатации. Студенты должны проанализировать работу генератора, регулятора напряжения и аккумуляторной батареи, провести необходимые измерения и определить причину разряда аккумулятора (неисправность генератора, утечка тока, старение аккумулятора и т.д.).

Внедрение метода кейс-стади в учебный процесс требует тщательной подготовки со стороны преподавателя. В первую очередь – это разработка качественных кейсов, которые соответствуют уровню подготовки студентов и охватывают различные аспекты преподаваемой дисциплины [3, 7]. Кроме того, важным аспектом является организация обсуждения кейсов и обеспечение со стороны преподавателя конструктивной обратной связи [7]. Это способствует активизации обучающихся, стимулирует интерес к предмету и повышает вовлеченность студентов в учебный процесс. Нельзя забывать и об оценке результатов. Необходимо оценивать не только правильность найденного решения, но и процесс анализа проблемы, умение работать в команде и аргументировать свою точку зрения.

Таким образом, метод кейс-стади – это эффективный инструмент, который позволяет существенно повысить качество образования. Данный метод активно развивается и адаптируется к современным вызовам. Он переживает новый виток популярности и эффективности. Метод кейс-стади – это один из важнейших инструментов для обучения, анализа и принятия решений в современном быстро меняющемся мире. Его внедрение в учебный процесс способствует лучшему усвоению теоретического материала, развитию практических навыков, необходимых для успешной профессиональной деятельности, формированию критического мышления и вовлечению студентов в поиск инновационных решений нестандартных ситуаций. Разработка и использование качественных кейсов, моделирующих различные аспекты электротехники, позволяет повысить качество подготовки инженеров, обеспечивая их конкурентоспособность на рынке труда, а также адаптироваться к быстро меняющимся требованиям современной промышленности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гатауллин, Р. М. Case-технологии в высшем профессиональном образовании / Р. М. Гатауллин // Высшее образование сегодня. – 2008. – № 1. – С. 43-46.
2. Еремин, А. С. Обеспечение учебной работы с использованием кейс-метода / А. С. Еремин // Инновации в образовании. – 2010. – № 4. – С. 77-90.
3. Попова (Смолик), С. Ю. Кейс-стади: принципы создания и использования / С. Ю. Попова (Смолик), Е. В. Пронина. – Тверь : Издательство «СКФ-офис», 2015. – 114 с. – ISBN 978-5-91504-043-3.



4. Царапкина, Ю. М. Использование кейс-технологий при обучении студентов / Ю. М. Царапкина // Образование и наука. – 2015. – № 3 (122). – С. 120-129.
5. Варфоломеева, Т. Н. Использование метода case study в профессиональной подготовке студентов / Т. Н. Варфоломеева, М. С. Грызлова – Текст: электронный // Современные научные исследования и инновации. – 2016. – № 3. – URL: <https://web.snauka.ru/issues/2016/03/65765> (дата обращения: 14.10.2025).
6. Деревянкина, О. М. Применение модели совместного использования методов «перевернутого обучения» и кейс-стади / О. М. Деревянкина // Педагогическое образование в России. – 2020. – № 4. – С. 83-91.
7. Раджабалиев, Г. П. Кейс-технологии в изучении дисциплины «Схемотехника и цифровая электроника» будущими педагогами профессионального обучения / Г. П. Раджабалиев, Г. М. Гаджикурбанова // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Психолого-педагогические науки. – 2014. – № 2 (27). – С. 108-113.

## REFERENCES

1. Gataullin, R. M. Case-Based Technologies in Higher Professional Education / R. M. Gataullin // Higher Education Today. – 2008. – № 1. – P. 43-46.
2. Eremin, A. S. Support of teaching through a case metod / A. S. Eremin // Innovations in education. – 2010. – No. 4. – P. 77-90.
3. Popova (Smolik), S. Yu. Case study: principles of creation and use / S. Yu. Popova (Smolik), E. V. Pronina. – Tver : SKF-Office Publishing House, 2015. – 114 p. – ISBN 978-5-91504-043-3.
4. Tsarapkina, Yu. M. The use of case technologies in teaching students / Yu. M. Tsarapkina // Education and science. – 2015. – No. 3 (122). – P. 120-129.
5. Varfolomeeva, T. N. The use of case study method in training students / T. N. Varfolomeeva, M. S. Gryzlova – Text: electronic // Modern scientific research and innovation. – 2016. – No. 3. – URL: <https://web.snauka.ru/issues/2016/03/65765> (accessed: 14.10.2025).
6. Derevyankina, O. M. Application of the model of joint use of «flipped class» methods and case study / O. M. Derevyankina // Pedagogical Education in Russia. – 2020. – No. 4. – P. 83-91.
7. Radzhabaliev, G. P. Case-technologies in studying the «Circuitry and digital electronics» discipline by future teachers of vocational training / G. P. Radzhabaliev, G. M. Gadzhikurbanova // Proceedings of the Dagestan State Pedagogical University. Psychological and Pedagogical Sciences. – 2014. – No. 2 (27). – P. 108-113.

Научное издание

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ, ИННОВАЦИИ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ НА ТРАНСПОРТЕ – 2025

Материалы Международной молодежной научно-практической  
конференции, посвященной 95-летию ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова

Воронеж, 23–24 октября 2025 года

Ответственный редактор Д. А. Жайворонок

Материалы издаются в авторской редакции

Подписано к изданию 03.12.2025. Объем данных 13,2 Мб  
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет  
имени Г.Ф. Морозова»  
394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8