

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Лысьвенский филиал федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Факультет: Профессионального образования

Направление: 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»

Профиль: Эксплуатация наземных транспортных, технологических и беспилотных машин

Кафедра: Общенаучных дисциплин

Допускается к защите
и.о. зав. кафедрой ОНД
_____ К.В. Кондратьева
«__» _____ 2026 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

на тему:

«Влияние беспилотных транспортных систем на безопасность автомобилей»

Студент: _____ Н.В. Костарева
(подпись, дата)

Группа: ЭТМ-21-1бзЛФ

Состав ВКР:

1. Пояснительная записка на _____ стр.
2. Графическая часть на _____ листах.

Руководитель: _____ старший преподаватель А.В. Лепихин
(подпись, дата)

Проверено
на наличие

заимствования: _____ канд. экон. наук, доцент, К.В. Кондратьева
(подпись, дата)

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ В АВТОМОБИЛЯХ.....	6
1.1. Понятие и классификация беспилотных автомобильных систем.....	6
1.2. Эволюция технологий автоматизации управления автомобилем.....	15
1.3. Современные компоненты и архитектура беспилотных систем.....	20
1.4. Международные и российские стандарты безопасности для беспилотных автомобилей	24
ГЛАВА 2. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ	27
2.1. Статистика аварийности: сравнение традиционных и беспилотных автомобилей	27
2.2. Основные факторы повышения безопасности при использовании беспилотных технологий.....	32
2.3. Риски и ограничения, связанные с внедрением беспилотных систем.....	36
2.4. Этические и правовые аспекты обеспечения безопасности	40
ГЛАВА 3. ПРАКТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ.....	43
3.1. Методика оценки влияния беспилотных технологий на безопасность (анализ кейсов, моделирование ситуаций)	43
3.2. Результаты тестирования беспилотных систем на примере современных моделей автомобилей.....	44
3.3. Сравнительный анализ эффективности различных типов беспилотных систем	49
3.4. Рекомендации по повышению безопасности при эксплуатации беспилотных автомобилей.....	50
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	53
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	55

ПРИЛОЖЕНИЕ А	58
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	59
ПРИЛОЖЕНИЕ В	60

ВВЕДЕНИЕ

Беспилотными транспортными системами называются автономные или частично автономные транспортные средства, которые способны воспринимать окружающую среду, принимать решения и управлять движением без прямого участия человека. Их действия основаны на интеграции передовых технологий с использованием сенсоров (лидаров, камер, радаров), искусственного интеллекта, машинного обучения, высокоточных картографических данных и связи.

Актуальность темы исследования обусловлена стремительным развитием технологий автономного вождения и активным внедрением в массовый автотранспорт. Благодаря автономным платформам и системам помощи водителю трансформируется подход к обеспечению дорожной безопасности. По данным Всемирной организации здравоохранения большая часть дорожно-транспортных происшествий вызвана человеческим фактором. У беспилотных технологий с мгновенными скоростями обработки информации и непрерывным сканированием окружающей обстановки способность безаварийного передвижения выше. Они способны снизить число аварийных ситуаций, спасти жизни и предотвратить травмы. Но стоит учесть и недостатки систем, а именно технические сбои, этические вопросы принятия решений в критических ситуациях, недостаточная регуляторная база и вопросы ответственности. В этих условиях исследование влияния БТС на безопасность автомобилей становится не только научно значимым, но и социально насущным.

Научная новизна работы заключается в сопоставлении статистических данных аварийности беспилотных транспортных средств и автомобилей с участием человека с учетом искажений данных.

Целью выпускной квалификационной работы является изучение влияния беспилотных транспортных систем на безопасность автомобилей.

Для достижения цели необходимо решить **ряд задач**:

- классифицировать беспилотные системы и описать их особенности;
- изучить общие сведения, эволюцию систем и их архитектуру;
- провести анализ влияния беспилотных систем на безопасность дорожного движения;
- сформулировать рекомендации по повышению безопасности при эксплуатации БТС.

Для исследования применялись **методы** сравнения, анализа, сопоставления, а также моделирования и экспертной оценки.

Объект исследования - беспилотные транспортные системы, применяемые в легковых и коммерческих автомобилях.

Предметом является влияние беспилотных транспортных систем на показатели дорожной безопасности, включая частоту, тяжесть и причины дорожно-транспортных происшествий.

Ожидаемые результаты исследования – обоснование критериев безопасности в условиях российского дорожного движения.

Практическая значимость работы заключается в разработке конкретных рекомендаций для различных уровней ответственности для устранения максимального числа рисков, которым могут подвергаться все участники дорожного движения.

Работа структурирована в соответствии с логикой научного исследования. В первой главе раскрываются теоретические основы, во второй — проводится анализ влияния на безопасность с учётом рисков и ограничений, в третьей главе исследования на основе реальных данных и симуляций. Заключение содержит обобщение результатов и практические рекомендации для разработчиков, регуляторов и пользователей беспилотных автомобилей.

ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ В АВТОМОБИЛЯХ

1.1. Понятие и классификация беспилотных автомобильных систем

Беспилотными автомобильными системами (БАС) называется комплекс технических, программных и сенсорных решений, которые позволяют транспортным средствам выполнять управление движением без прямого участия человека. Для функционирования таких систем используются данные от большого количества сенсоров (камер, радаров, лидаров, ультразвуковых датчиков), а также картографическая информация и алгоритмы искусственного интеллекта для восприятия окружающей среды, принятия решений и управления исполнительными механизмами автомобиля (рулевым управлением, тормозами, дросселем).

Цель БАС - это обеспечение безопасного, экомфортного и эффективного передвижения при различных дорожных условиях с минимальным человеческим участием [19].

На рисунке 1 изображена комплексная классификация беспилотных транспортных средств.

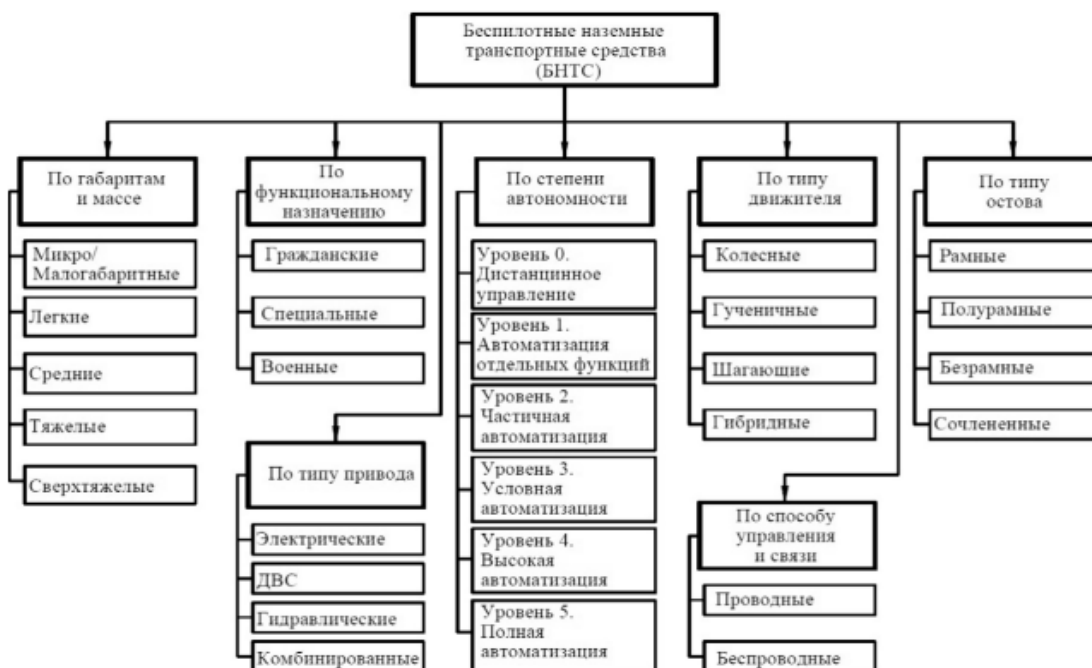


Рисунок 1 – Классификация беспилотных транспортных средств

Согласно принятой классификации все беспилотные наземные транспортные средства можно условно разделить по пяти критериям:

1) По габаритам и массе

Размеры и масса напрямую определяют области применения и технические возможности автомобиля. Устройства с массой до 10 кг считаются микро- и малогабаритными и предназначены для внутренних инспекций, образовательных задач и лабораторных исследований. В качестве разведывательного аппарата или наблюдательного, а также для доставки используются легкие модели массой до 100 кг. При массе 1 тонна беспилотные автомобильные системы относятся к средним и решают инженерные задачи, включая транспортировку средних грузов на производственных объектах. Специализированная техника для добычи полезных ископаемых или строительства в экстремальных условиях под силу тяжелым (до 10 тонн) и сверхтяжелым категориям (свыше 10 тонн).

2) По функциональному назначению

Функциональная классификация разделяет беспилотные транспортные средства на три основные группы. Гражданские системы предназначаются для направлений логистики, сельхозтехники, патрулирования, спасательных работ и уборки территорий. Специальные системы создаются для работы в экстремальных средах – на высотах, под водой, в зонах с повышенной радиацией и на других планетах. У военных систем задача в оказании помощи во время разведывательных операций, снабжения войск и тактической поддержки, обезвреживания взрывоопасных предметов.

3) По типу привода

По типу приводов транспортные средства классифицируются на электрические, гидравлические, комбинированные и ДВС. Для каждого типа предусмотрено индивидуальное питание. Солнечные панели, аккумуляторы или топливные элементы являются базой для электрических приводов, которые чаще всего применяются в городской среде. Двигатели внутреннего сгорания обладают большими мощностями, но не экологичны. Его применение

ограничено в некоторых странах мира. Гидравлические системы работают от перепада давления жидкостей и надежны. Отрицательной стороной является риск утечки рабочей жидкости и строгий контроль безопасности. Существуют комбинированные приводы, которые объединяют несколько типов энергии и обеспечивают адаптивность, эффективность и снижение эксплуатационных рисков.

4) По степени автономности

По международной практике наземные транспортные средства разделены на уровни автономности [11]:

Уровень 0 — полностью ручное управление с пульта.

Уровень 1 — базовая автоматизация (например, автоматическая остановка при препятствии).

Уровень 2 — частичная автономия, при которой система управляет движением, но оператор должен постоянно контролировать ситуацию.

Уровень 3 — условная автономия, при которой транспортное средство самостоятельно решает большинство задач, но требует вмешательства в нештатных ситуациях.

Уровень 4 — высокая автономия, при которой система функционирует без участия человека в заданных зонах (геофенсах).

Уровень 5 — полная автономия, устройство способно работать в любых условиях без какого-либо человеческого вмешательства, что пока остается целью исследований.

5) По типу движителя, способу управления и конструкции

Проходимость беспилотных транспортных средств определяется движителями. По классификации колесные используются для твердых поверхностей, гусеничные — для бездорожья или снега, шагающие — для сложного рельефа с препятствиями, а гибридные — для универсального применения. Управление может осуществляться по проводам (стабильно, но ограничено по радиусу) или с применением радио, спутниковых или мобильных сетей. Конструкции корпуса могут быть рамные (обладают

высокой прочностью), полурамные (среднее между прочностью и весом), безрамные (легкие, компактные) и сочлененные (высокая маневренность, например, для тоннелей или горных маршрутов).

Сочетание рассмотренных критериев позволяет создавать беспилотные транспортные системы, способные выполнять конкретные задачи в определенных средах эксплуатации.

Внедрение беспилотных автомобилей в реальную жизнь активно происходит в зарубежных странах - США, Канаде, Германии, Японии и странах Северной Европы.

Ведущими компаниями-производителями можно считать Tesla(США), GeneralMotors(США) и Baidu(Китай). Их разработки индивидуальны и масштабны. Лидером по масштабам является США. У Tesla отличительной особенностью является использование системы, которая видит обзор на 360 градусов и сопоставляет его с применением искусственного интеллекта. Компания предлагает функцию Full Self-Driving (FSD) в своих автомобилях, но с уровнем автономности L2–L3.

Ведущие компании Waymo (Google), Cruise (GeneralMotors), Tesla, BMW и Toyota занимаются также разработками. У Waymo осуществляется коммерческие услуги беспилотных такси в Фениксе и Сан-Франциско. В Европейских странах основное внимание в беспилотных автомобильных системах уделяется безопасности и регулированию. Первая страна, разрешившая эксплуатацию автомобилей на открытых дорогах, стала Германия. Автобусы марки Mercedes-Benz eCitaro эксплуатируются в Штутгарте. Тестирование логистики грузовых автомобилей занимаются Швеция и Нидерланды. Автономные грузоперевозки по замыслу разработчиков Einride, TuSimple и Embark должны снизить коммерческие издержки на транспортировку грузов и выбросы углекислого газа. Зарубежные компании интегрируют в свои модели искусственный интеллект, LiDAR, радары и высокоточную картографию для сложных городских условий, включая пешеходные зоны и погодные условия.

Разработки в области беспилотных автомобильных систем ведутся не только в европейских странах. Китай и Япония также успешно внедряют данные технологии. Автономные такси и микроавтобусы используются для сельских районов, чтобы перевозить пожилых людей.

В России развитие беспилотных транспортных технологий происходит с участием ведущих компаний несмотря на суровый климат, слабо развитую инфраструктуру и специфические дорожные условия. Три ведущие компании Яндекс, СберАвтотехи НПО СтарЛайн успешно реализуют свои задумки. Яндекс и СберАвтотех специализируются на легковых беспилотных автомобилях, в то время как НПО СтарЛайн ведет разработки для грузовых. Тестированием беспилотных технологий для грузоперевозок и такси занимается Яндекс. Инновации в области беспилотных грузовиков можно отметить у КАМАЗа. Их последняя разработка - это модель КАМАЗ-4308 «Одиссей». Высокий уровень автономности показывают электромобили «SberAutoTech ФЛИП». Компания ГАЗ разработала беспилотный автобус «ГАЗель Next Eva». Проект беспилотного грузового автомобиля СтарЛайн участвует в проекте «Беспилотные логистические коридоры» - части стратегических инициатив Минтранса России. Также применение беспилотных транспортных систем внедряется в сельское хозяйство, включая автономные тракторы с системой автоуправления РСМ Агротроник Пилот 1.0 электроруль для сельского хозяйства от «Ростсельмаш» [14].

Составим сводную таблицу 1 с рейтингом стран по развитию беспилотных технологий в мире.

Таблица 1 - Рейтинг стран по развитию технологий беспилотных автомобилей

№	Страна	Законо да тельств о	Техн о логи и	Инфр аст рукту ра	Испол зовани е	Общи й рей тинг	Примечания
1	Сингапур	1	11	5	1	5.4	Лидер по пилотным проектам (Smart Nation).
2	Нидерланды	3	10	1	7	5.8	Прогрессивное законодательство, тесты на общественных дорогах.
3	Норвегия	10	5	3	5	6.0	Высокая доля электромобилей, тесты с участием населения.
4	США	6	2	9	6	5.6	Лидер по инвестициям (Waymo, Tesla), но слабое законодательство на федеральном уровне.
5	Финляндия	4	8	11	2	6.0	Пилотные проекты в Хельсинки, тесная связь с Nokia.
6	Швеция	15	6	8	3	8.0	Прогрессивные тесты в Стокгольме.

7	Южная Корея	16	7	2	10	8.2	Амбициозные планы по внедрению к 2030 г.
8	ОАЭ	8	22	4	4	10.0	Пилотные проекты в Дубае (Hyperloop, автономные такси).
9	Великобритания	2	9	16	12	9.8	Сильная научная база, но замедление после Brexit.
10	Дания	12	15	10	8	11.4	Отстаёт по законодательству.
11	Япония	18	3	6	18	11.0	Консервативное регулирование, но сильные технологические компании (Toyota, SoftBank).
12	Канада	9	13	13	13	12.0	Провинциальные эксперименты (Онтарио, Квебек).
13	Тайвань	13	14	15	15	14.0	Поддержка со стороны правительства, но ограниченные тесты.
14	Германия	7	4	19	21	12.0	Сильные автопроизводители (BMW, Mercedes), но медленное

							законодательство.
1 5	Австралия	17	17	12	9	14.0	Пилотные проекты в Сиднее/Мельбурне, но слабая инфраструктура вне городов.
1 6	Израиль	19	1	25	11	13.8	Лидирует в алгоритмах и сенсорах (Mobileye), но слабая инфраструктура.
1 7	Новая Зеландия	5	19	20	14	14.0	Географические ограничения для тестирования.
1 8	Австрия	11	16	7	24	14.8	Тесты в Венах, но слабое использование.
1 9	Франция	14	12	17	19	15.4	Прогресс в Париже, но бюрократические барьеры.
2 0	Китай	21	20	16	20	19.0	Масштабные тесты (Baidu Apollo), но слабое законодательство.
2 1	Бельгия	20	18	23	23	20.8	Отстаёт по всем параметрам.
2 2	Испания	23	23	15	17	20.4	Тесты в Барселоне, но низкий общий

							рейтинг.
2 3	Чехия	22	24	24	22	23.0	Потенциал, но ограниченные ресурсы.
2 4	Италия	27	21	26	26	25.0	Замедление из-за политической нестабильности.
2 5	Венгрия	25	28	28	28	26.8	Практически отсутствуют проекты.
2 6	Россия	26	27	20	20	23.8	Эксперименты в Москве/Санкт-Петербурге, санкционные ограничения.
2 7	Чили	24	26	25	25	25.0	Географические возможности для тестирования.
2 8	Мексика	29	29	27	27	28.0	Отсутствие значимых инициатив.
2 9	Индия	28	29	30	30	29.0	Высокая плотность дорожного движения, но слабые технологии.
3 0	Бразилия	30	30	29	29	30.0	Наиболее отстающая страна в рейтинге.

Развитие беспилотных технологий стремительно прогрессирует по всему миру и создает новые, экологические и безопасные эффективные транспортные решения.

1.2. Эволюция технологий автоматизации управления автомобилем

Идея о возможности создания беспилотных транспортных средств зародилась во время проектирования автомобилей на радиоуправлении.

В 1925 году появился первый радиоуправляемый автомобиль, выполнявший самые простые команды. Разработка принадлежит американской компании. Транспортное средство выполняло команды старта, поворотов и движения назад через поступавший сигнал от радио. Этот автомобиль не является беспилотным, он просто дал человеку идею о создании новой технологии.

Затем в 1930 году был сконструирован компанией General Motors автомобиль Нормана Бел Геддеса «Футурама». Его представили на Всемирной выставке, экспонат был крайне дорогим и современным на тот период времени [14].

В 1946-1947 годах впервые появился круиз-контроль для автомобилей. Позже разработки в этом направлении были направлены на создание современных систем предупреждения о сходе с полосы движения и предупреждения о фронтальном столкновении. Они стали частью определения беспилотных автомобилей в последующие годы.

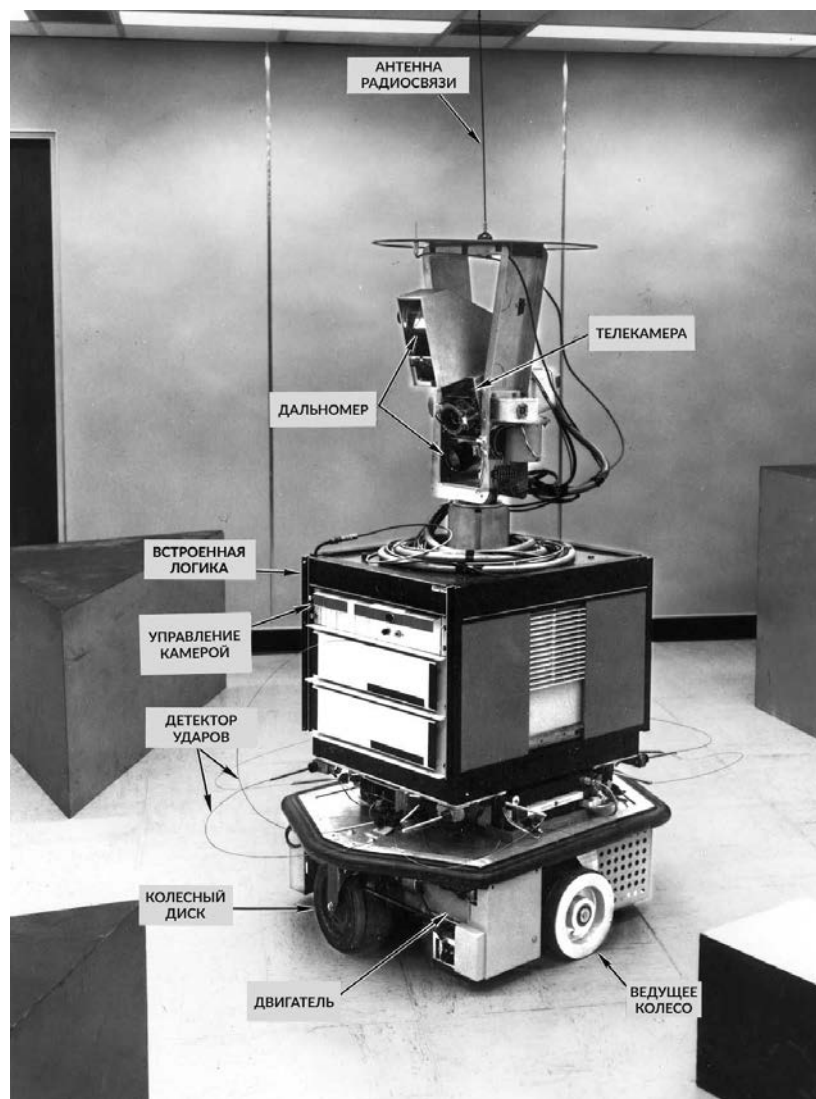


Рисунок 2 – Внешний вид робота

В 1960–80-е годы ознаменовались открытием компьютерного зрения и послужило основой для создания беспилотных автомобилей. В Стэнфордском исследовательском институте в 1972 году в США был разработан первый мобильный робот Shakey со способностью анализировать свои действия, который стал основой для беспилотных технологий и важным шагом на пути к автоматизации. На рисунке 2 изображен внешний вид робота.

В 1977 году японским исследовательским центром Цукуба был спроектирован первый в мире беспилотный автомобиль с возможностью точного определения навигационных целей. Он двигался со скоростью 30 км/ч и имел две видеокамеры для распознавания дорожной разметки. Это было первое применение технического зрения в разработке беспилотного автомобиля.

Следующим шагом для беспилотных технологий можно считать прототип беспилотного автомобиля ARGO, созданный в Университет Пармы в Италии в 1966 году. Он смог проехать, управляя самостоятельно 1900 км со средней скоростью 90 км/ч. Оснащение транспортного средства составляли две камеры, которые использовали алгоритмы стереоскопического зрения.

В 1980 году фургон под управлением робота с визуальным управлением смог развить скорость до 95,9 км/ч. Это была разработка Эрнста Дикмансона из Мюнхенского университета Бундесвера в Германии.

В 1986 году была успешно интегрирована система NavLab, которая объединила компьютерную обработку изображений и сенсорные системы для управления. Это способствовало реализации автоматического движения автомобиля при помощи нейронных сетей контролем направления и скорости. В самом начале беспилотная система могла контролировать только два параметра, но это было важным достижением в области технологий беспилотного вождения [4].

США в 1991 году начали проводить исследования Национальной автоматизированной системы автомобильных дорог. Это было начало развития автоматизированного вождения с технологиями транспортных средств. Постепенно за 14 лет технологии позволили нарастить скорости беспилотного средства, обучили навыкам вождения и контроля, а также оборудовали сенсорными системами [10].

С 2005 года по всему миру как частные компании, так и государственным исследовательские центры стали разрабатывать автономные транспортные средства. В 2015 году в Калифорнии были проведены испытания дочерней компанией General Motors Cruise. В 2017 году было запущено первое робо-такси Waymo в Финикс и немного позже DeepRoute.ai в Шэньчжэне. К 2024 году проекты были свернуты по причине их коммерческой целесообразности.

2019 год отмечен мировым рекордом беспилотного автомобиля, который смог развить скорость до 282,42 км/ч.

С 2020 годов стали разрабатываться нормативные акты, регулирующие использование беспилотных транспортных систем.

В таблице 2 структурированы основные этапы эволюции транспортных систем.

Таблица 2 - Этапы эволюции технологий автоматизации автомобиля

Этап	Период	Уровень автоматизации	Применяемые технологии	Примеры применения	Описание
0. Ручное управление	До 1980-х	Level 0 (полный контроль водителя)	Механические системы (тормоза, рулевое управление)	Все автомобили без ЭСП и ABS	Отсутствие автоматизации, полная зависимость от водителя
1. Активная безопасность	1980–2000-е	Level 1 (функциональная помощь)	ABS, ESP, EBD, фары с автоматическим включением, начальные системы круиз-контроля	Mercedes-Benz (ABS, 1978), BMW (ESP, 1995)	Низкий уровень взаимодействия с дорожной инфраструктурой
2. Системы помощи водителю	2000–2010-е	Level 1–2 (частичная автоматизация)	ACC (адаптивный круиз-контроль), парктроники, системы обнаружения	Toyota Safety Sense (2015), Tesla Autopilot (2014)	Ограниченная работоспособность в плохих погодных условиях

			я пешеходов		
3. Частичная автоматизация	2010–2020-е	Level 2–3 (условно автономный режим)	Камеры, лидары, радары, компьютерное зрение, обучение на больших данных	Tesla "Full Self-Driving" (Level 2), Waymo Driver (Level 4 вограниченны хзонах)	Отсутствие полной ответственности за безопасность, регуляторны е барьеры
4. Высокая автоматизация	С 2020-х	Level 3–4 (высокая автономия)	Глубокое обучение (AI/ML), V2X (обмен данными с инфраструкт урой), цифровые двойники	Cruise (роботакси в Сан-Франциско), Zoox (беспилотные автомобили для доставок)	Высокая стоимость оборудовани я, этические и юридические вопросы
5. Полная автоматизация	После 2025*	Level 5 (полная автономия)	Интеграция с умными городами, квантовые вычисления, самообучаю щиеся системы без водителя	Проекты Waymo One (беспилотные такси без резервного водителя), российские решения для сельхозтехник и	Необходимо сть пересмотра законодатель ства, общественно е доверие, кибербезопа сность

Исходя из данных таблицы можно сделать вывод, что беспилотные транспортные системы активно развиваются и в настоящее время.

1.3. Современные компоненты и архитектура беспилотных систем

Современными беспилотными автомобилями принято считать сложные киберфизические системы, которые объединяют аппаратные и программные компоненты для восприятия, принятия решений и управления транспортным средством без участия человека. Построение архитектуры происходит по принципу модульности и избыточности для обеспечения безопасности, надежности и масштабируемости. В таблице 3 отражены основные компоненты беспилотных систем.

Таблица 3 - Основные компоненты беспилотной системы

Компонент	Функция	Примеры технологий
Сенсорная система (Perception)	Сбор данных об окружающей среде	Камеры (RGB, HDR), LiDAR (Laser Imaging), Радары (mmWave), Ультразвуковые датчики, Инфракрасные сенсоры
Система локализации и картографирования	Определение точного местоположения и построение карты	GPS + RTK (с точностью до 1–2 см), IMU (инерциальные датчики), HD-карты (Mapbox, Here, TomTom), SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)
Центральный процессор / вычислительная платформа	Обработка данных в реальном времени	NVIDIA DRIVE Orin (254 TOPS), Qualcomm Snapdragon Ride, Mobileye EyeQ Ultra, Tesla Dojo (внутренняя платформа)
Искусственный интеллект и алгоритмы принятия решений	Интерпретация сцен, планирование маршрута,	Глубокие нейронные сети (CNN, Transformer), Reinforcement Learning, Behavior Prediction Models, Occupancy Networks

	предсказание поведения других участников движения	
Система планирования движения (Planning)	Генерация безопасного и эффективного траекторного пути	Методы на основе графов (A*, RRT*), оптимизация на основе модели (MPC), поведенческие модели (Rule-based, ML-based)
Система управления исполнительными механизмами (Control)	Управление рулем, тормозами, акселератором	PID-регуляторы, MPC, LQR, адаптивные контроллеры
Коммуникационные модули (V2X)	Обмен данными с инфраструктурой и другими транспортными средствами	DSRC, C-V2X (LTE-V, 5G NR-V2X), Cloud-to-Vehicle (C2V)
Системы безопасности и отказоустойчивости	Обеспечение безопасности при сбоях	Резервные системы питания, дублирование сенсоров, fail-safe режимы, аварийная остановка, мониторинг состояния системы
Программное обеспечение и ОС	Интеграция всех модулей, управление потоками данных	ROS/ROS2, AUTOSAR Adaptive, QNX, Linux + Docker/Kubernetes, NVIDIA DRIVE OS

На рисунке 3 показаны основные места расположения компонентов для автомобиля.

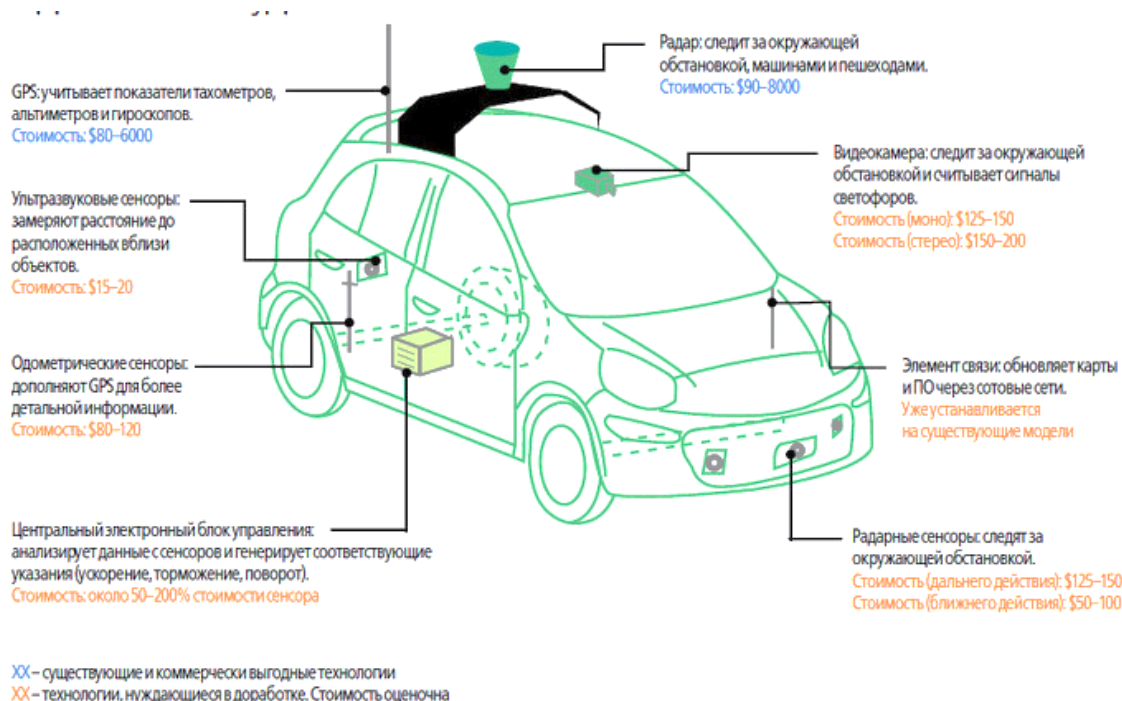


Рисунок 3 – Оснащение автомобиля компонентами

Беспилотное транспортное средство состоит из множества подсистем, совокупность которых и позволяет осуществлять работу беспилотника. Аппаратная платформа решает 3 типа задач [9]:

1. Сенсорного сканирования - извлечение информации из окружающей среды;
2. Восприятия - интерпретация извлеченной информации;
3. Принятия решений - совокупность мер, обеспечивающих безопасное и надежное достижение места назначения на основе воспринятой информации.

Совокупность аппаратных средств содержит следующие основные элементы:

- Сканирующие оптические дальномеры (лидары) - сканируют пространство вокруг и формируют облако точек, которое позволяет определять расстояния до объектов;
- Радиолокационные датчики – их задача отслеживать препятствия и определять расстояния до них;

- Датчики одометрии - анализируют данные о движении для оценки перемещения;
- Инерциальные датчики – отвечают за ускорение и угловые скорости для определения координат, курса, скорости и т.д.;
- ГНСС-приемник -получает данные географических координат;
- Камеры -собирают визуальную информацию для распознавания объектов;
- Вычислительный блок.

Рисунок 4 содержит информацию о типовой структуре системы. Типовая структура систем является модульной и многоуровневой. Для успешного ее функционирования используются принципы обработки данных в реальном времени, избыточности и отказоустойчивости.

Между компонентами системы существует связь. Единый цикл работы предусмотрен для исполнительного управления, модуля локализации, сенсорной системы, вычислительных платформ и алгоритмов для принятия решений и восприятия.

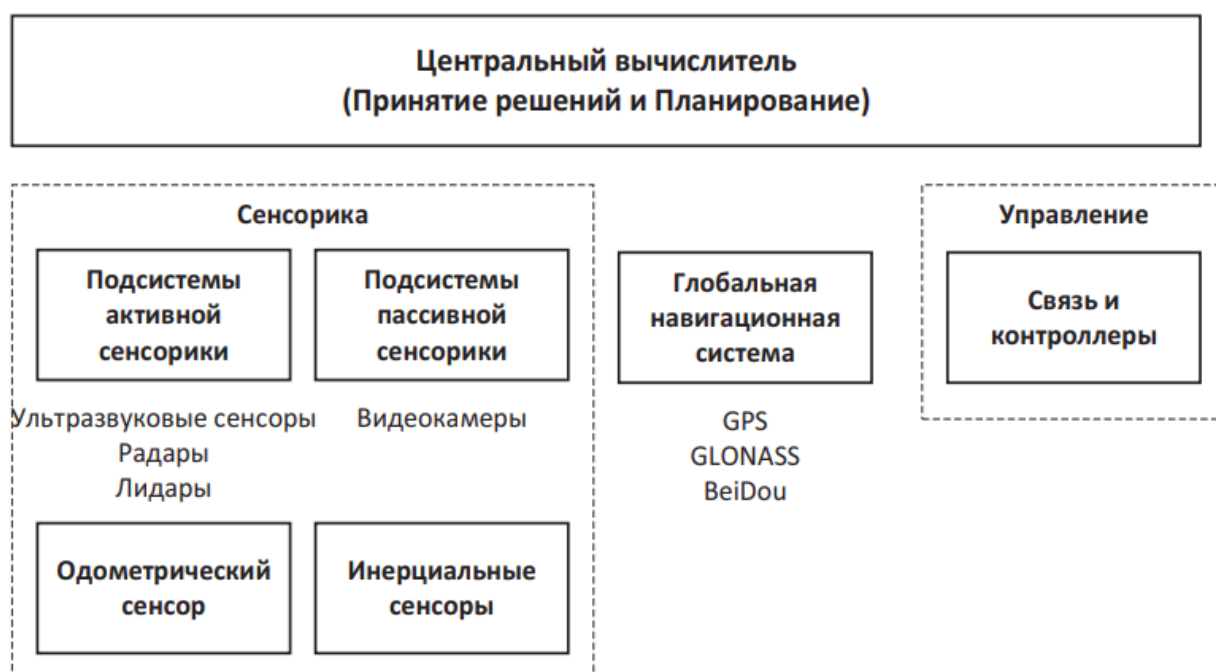


Рисунок 4 – Схема типовой структуры системы

Функционирование в цикле происходит по алгоритму:

- 1) восприятие окружающей среды;
- 2) определение местоположения;
- 3) прогноз поведения окружающих объектов;
- 4) создание безопасной траектории движения;
- 5) управление исполнительными механизмами.

Такой способ построения взаимосвязей обеспечивает масштабируемость и надежность системы, а также приспосабливается к постоянно изменяющимся условиям дорожной среды.

1.4. Международные и российские стандарты безопасности для беспилотных автомобилей

Бесспорно, применение беспилотных автомобилей станет частью дорожного движения в ближайшем будущем. Помимо технических факторов огромное влияние на внедрение оказывают стандарты безопасности.

Основу норм составляют принципы функциональной безопасности, киберзащиты и надежности систем управления. Международные стандарты ISO 26262 и ISO/SAE 21434 устанавливаю единые требования для проектирования, тестирования и сопровождения автономных систем.

В Российской Федерации основными нормативно-техническими документами по эксплуатации беспилотного автомобильного транспорта являются государственные стандарты. В них определены и проработаны вопросы терминологии и основных принципов создания, а также вопросы, касающиеся систем искусственного интеллекта. ГОСТ Р 58823-2020 «Автомобильные транспортные средства. Системы автоматизации управления движением. Классификация и определения» устанавливает классификацию по уровням автоматизации.

Развитие нормативной базы происходит так быстро, оно остается в стадии адаптации к глобальным практикам. ГОСТ Р ИСО 26262 и ГОСТ Р ИСО/САОЕ 21434 соответствуют международным аналогам, но практическое применение ограничено пилотными проектами. Распоряжение Правительства

РФ от 25.03.2020 N 724-р (ред. от 07.03.2026) регламентирует концепции обеспечения безопасности дорожного движения с участием беспилотных транспортных средств на автомобильных дорогах общего пользования [4].

Сравним в таблице 4 международные и российские стандарты.

Таблица 4 – Сравнительная таблица стандартов

Категория	Международные стандарты	Российские стандарты
Функциональная безопасность	ISO 26262 (ASIL-D)	ГОСТ Р ИСО 26262-2021
Кибербезопасность	ISO/SAE 21434	ГОСТ Р ИСО/CAOE 21434-2023
Обновление ПО	UN R156	В разработке (включено в пилотный проект)
Автономность L4/L5	UN R157 (L3), расширение на L4 в разработке	Пилотный проект, L4 разрешён на тестовых зонах
Данные и мониторинг	Обязательный Event Data Recorder	Обязательная фиксация событий в пилотных зонах
V2X / HD-карты	Рекомендации 3GPP, ETSI	В разработке нормативов

Современные автономные транспортные системы - это сложные вычислительные платформы, подключенные к сети. Уязвимости в программном обеспечении могут привести к катастрофическим последствиям, поэтому внедрение требований и строгое соблюдение является вопросом выживания.

Вывод: теоретические основы применения беспилотных транспортных систем позволяют проследить развитие от простых дистанционно управляемых устройств до сложных систем с искусственным интеллектом, и мультисенсорным восприятием. Для систематизации разнообразия моделей

принята классификация по габаритам, назначению, приводу, уровню автономности и конструкции. Международные стандарты задают глобальные ориентиры безопасности и надежности. Россия также располагает определенным набором нормативно-правовой базы, но требуется синхронизирование с мировыми практиками для обеспечения конкурентоспособности и безопасности внедрения технологий.

ГЛАВА 2. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

2.1. Статистика аварийности: сравнение традиционных и беспилотных автомобилей

На сегодняшний день сравнение аварийности традиционных и автономных автомобилей в России затруднено из-за отсутствия масштабной эксплуатации беспилотных транспортных средств на общих дорогах. В Российской Федерации проводятся пилотные проекты, но они ограничены замкнутыми зонами и не обеспечивают достаточного объёма данных для статистически значимого анализа. По Постановлению Правительства РФ от 22 февраля 2020 г. N 200 «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 26 ноября 2018 г. N 1415» количество регионов-участников увеличено до 13. К ним относятся Татарстан, Калужская область, Свердловская область, Московская область, Приморский и Хабаровский край, Самарская область, г. Санкт-Петербург, Башкортостан, Нижегородская область и Тюменская область.

В то же время данные ГИБДД демонстрируют, что более 95% ДТП в России связаны с человеческим фактором, что формирует теоретическую основу для ожиданий снижения аварийности при внедрении автономных систем. Однако реальная статистика по аварийности беспилотников в российских условиях пока отсутствует, а международные данные (например, от Waymo или Cruise) не всегда применимы из-за различий в инфраструктуре, климате и правилах дорожного движения [5].

По данным Национального управления безопасностью движения на трассах США (NHTSA), количество сообщений об авариях с участием автомобилей, оснащенных системами автоматического вождения (ADS), продолжает расти. Например, в мае 2025 года был зафиксирован рекордный месячный показатель в 110 столкновений.

Диаграмма с числом столкновений автомобилей, оснащенных системами автоматического вождения (ADS) на трассах США по состоянию на 15 сентября 2025 года представлена на рисунке 5.

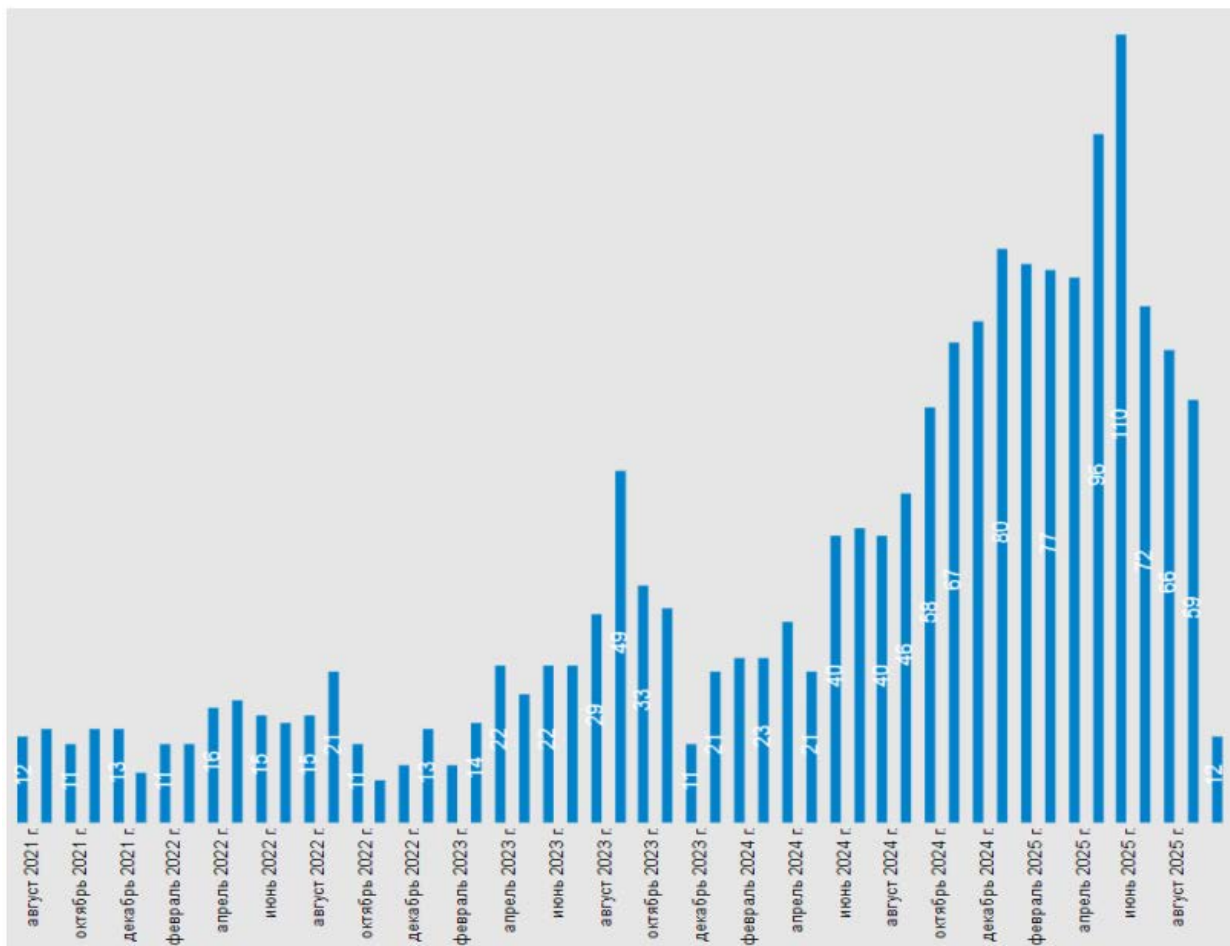


Рисунок 5 - Число столкновений автомобилей, оснащенных системами автоматического вождения (ADS) на трассах США по состоянию на 15 сентября 2025 года

Более того, некоторые аналитические отчеты приводят на первый взгляд тревожную статистику. Так, один из показателей составляет 5,6 аварии на миллион километров для беспилотников против 2,6 аварии для автомобилей под управлением человека.

Сравнение аварийности иллюстрирует рисунок 6.

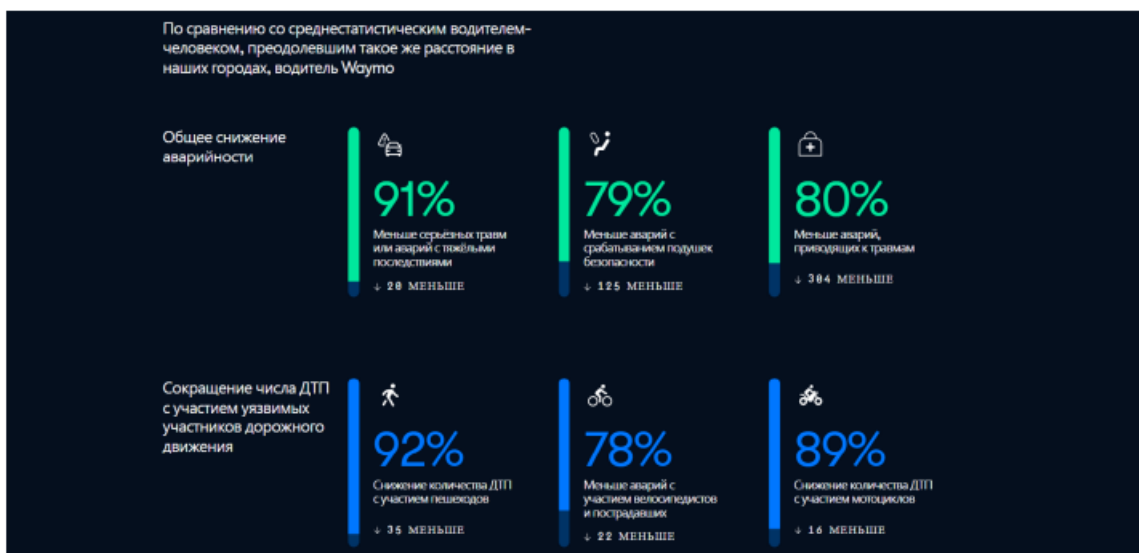


Рисунок 6 - Сравнение аварийности с участием среднестатистического водителя-человека и автомобиля Waymo

Но сопоставлять данные статистические значения некорректно по ряду следующих причин [16]:

1. Систематическое искажение отчётности

У беспилотных автомобилей оснащение высокоточной телеметрией, которая фиксируетлюбой, даже малейший контакт с препятствием.Например, незначительное касание бампера на парковке система регистрирует как ДТП, в то время как водитель-человек может и не заметить. Все данные автоматически передаются регуляторам и попадают в официальную статистику. Статистика ДТП с участием человека основываетсяна протоколах, которые составляются специалистами при нарушениях ПДД, травмах или наличии материального ущерба. Таким образом, мелкие столкновения остаются при участии человека вне учета. С учетом данных фактов нельзя утверждать, что беспилотные автомобили имеют больший коэффициент аварийности.

2. Несопоставимость условий эксплуатации

Тестирование беспилотных автомобилей производится в таких городах как Финикс или Сан-Франциско. В них достаточно сложные экстремальные условия для вождения — много пешеходов, высокая плотность трафика и наличие велосипедистов. Риск дорожно-транспортного происшествия в такой

среде гораздо выше. Статистические данные по автомобилям под управлением человека берутся независимо от территории, поэтому сравнивать данные показатели неразумно.

3. Проблема определения вины и искажение причинно-следственной связи

При анализе дорожно-транспортных происшествий с участием беспилотного автомобиля можно сделать вывод, что не всегда виновником выступает сам автомобиль, но в статистику данные о ДТП с участием беспилотного автомобиля попадают. Например, наезд автомобиля с участием человека на беспилотный. В таком случае статистические данные фиксируют участие, а не вину, искажая реальные данные о ДТП.

Принимая во внимание все вышеперечисленные причины искажения результатов статистических данных, можно сделать вывод, что сравнивать данные нужно на одинаковых или однотипных территориях, а также вести учет по тяжести последствий [8].

Компания Waymo для анализа берет во внимание все нюансы статистических данных. Они сравнивает показатели аварийности своих произведенных автомобилей с усредненными показателями автомобилей под управлением человека в одних и тех же населенных пунктах. Такие результаты более показательны и представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Сравнительный анализ показателей безопасности (данные за 2023–2025 гг.)

Показатель	Беспилотные автомобили (Уровень 4, напр. Waymo)	Традиционные автомобили (с человеком за рулем)
Аварии с серьезными травмами	На 91% ниже среднего показателя по городам тестирования	Усреднённый показатель по США (база сравнения)
Аварии с любыми травмами	На 80% ниже среднего показателя по городам тестирования	Усреднённый показатель по США (база сравнения)
Общее количество инцидентов (на 1 млн миль)	9.1 (включая мелкие касания, без травм)	4.1 (включая все ДТП, по данным DMV)
Точность предсказания водительских событий	93.61% (на основе анализа ЭЭГ-сигналов в симуляциях)	Не применимо (человеческий фактор непредсказуем)

По расчетным данным компании Waymo, их технология производства автомобилей обеспечила на 91% меньше происшествий с серьезными травмами и на 80% с травмами легкой и средней тяжести в сравнении с водителями-людьми на одинаковых маршрутах [9]. Это демонстрирует главное преимущество беспилотных автомобилей. Данный вид транспорта запрограммирован так, что если он не может избежать мелких инцидентов (часто по вине других), то его предсказуемое и законопослушное поведение помогает предотвращать именно опасные и травматичные столкновения. Дополнительные исследования подтверждают потенциал технологии. Анализ данных электроэнцефалографии (ЭЭГ) пассажиров показал, что алгоритмы могут предсказывать агрессивные маневры с точностью до 93,61%, что открывает путь к созданию еще более плавных и безопасных систем [12].

В России тестирование экспериментального правового режима (ЭПР) по управлению беспилотников было проведено с апреля 2022 года по ноябрь 2024 года. За данный период зафиксировали 36 ДТП с участием беспилотных автомобилей. В автоматизированном режиме управления зарегистрировано 26 случаев и 10 в ручном режиме. Также необходимо отметить, что только 2 дорожно-транспортных происшествия произошли по вине беспилотных автомобилей, остальные - по вине других участников движения. Для сравнения по статистическим данным за 2024 год произошло 116 000 обычных ДТП. Эксперимент проводился в трех городах и общее количество поездок составило 92000. В Сириусе было совершено 70000 поездок, в Иннополисе – 20000, в Ясенево – 2000.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что правильная интерпретация статистических данных очень важна и беспилотные технологии в настоящее время демонстрируют огромный потенциал в управлении транспортными средствами и способствуют снижению тяжести ДТП.

2.2. Основные факторы повышения безопасности при использовании беспилотных технологий

Безопасность во время дорожного движения является главным фактором для всех его участников. Разработка и применение беспилотных технологий не только должны повысить комфорт поездок, но и снизить число дорожно-транспортных происшествий, вызванных человеческим фактором [9].

Также стоит отметить, что за безопасность беспилотного автомобиля отвечает система поддержки принятия решений (СППР) предотвращения аварийной ситуации. Она представляет собой систему с интеллектуальными компонентами информационной поддержки решений оператора БПА. Структурная схема системы ППР представлена на рисунке 7.



Рисунок 7 - Структурная схема системы поддержки принятия решений

Во время экстремальной ситуации система принятия решений на основе имеющихся данных базы знаний использует оптимальный режим управления с учетом обеспечения безопасности движения. Косновными функциями СППР относятся анализ текущей дорожной ситуации, состояние элементов системы БПА и их взаимодействие с внешними объектами, сравнение текущих и целевых значений переменных безопасности движения, определение области допустимых решений предотвращения аварийной ситуации и распределение их в соответствии с показателями эффективности.

Рассмотрим факторы повышения безопасности в таблице 6.

Таблица 6 - Факторы повышения безопасности при использовании беспилотных технологий

№	Фактор	Описание	Влияние на безопасность
1	Устранение человеческого фактора	БПА не устают, не отвлекаются, не находятся под влиянием алкоголя, эмоций или усталости.	Снижает долю аварий, вызванных невнимательностью, опьянением или ошибками восприятия — до 94% всех ДТП по данным NHTSA.

2	Постоянное 360°-мониторинг окружения	Сенсоры (LiDAR, камеры, радары) работают 24/7, без слепых зон, с высокой точностью в любых условиях освещения и погоды.	Обнаружение пешеходов, велосипедистов и препятствий на расстоянии до 300 м, даже при плохой видимости.
3	Мгновенная реакция и предсказуемое поведение	Системы принимают решения за 10-100 мс, в отличие от человеческого реагирования (0.5–2 с).	Исключает «запаздывание реакции» - главную причину столкновений на перекрёстках и при торможении.
4	Высокая точность предсказания поведения других участников движения	Использование искусственного интеллекта и нейросетей для прогнозирования действий пешеходов, велосипедистов и других ТС с точностью до 93–97%.	Снижает риск «неожиданных» столкновений, особенно в плотном городском трафике.
5	Системы V2X (Vehicle-to-Everything)	Обмен данными с инфраструктурой (светофоры, дорожные знаки) и другими ТС (V2V) в реальном времени.	Предупреждение о скрытых угрозах (например, торможение автомобиля за углом здания).
6	Непрерывное обучение и OTA-обновления	Алгоритмы улучшаются в реальном времени на основе данных	Патчи безопасности и новые сценарии обработки внедряются за

		миллионов километров пробега.	часы, а не годы.
7	Консервативная стратегия управления	БПА часто выбирают более безопасные, но менее эффективные действия, например, избегают манёвров при неопределённости.	Снижает риск «агрессивного» вождения, типичного для людей.
8	Централизованное управление и резервирование	Наличие дублирующих систем (датчики, процессоры, источники питания) и удалённого мониторинга.	Обеспечивает отказоустойчивость, при сбое одного компонента система переходит в безопасный режим.
9	Отсутствие рисков, связанных с эмоциональными состояниями	БПА не подвержены агрессии, раздражению, «дорожной ярости» или давлению со стороны пассажиров.	Исключает эмоционально обусловленные риски, превышение скорости, рискованные обгоны, нарушение правил.
10	Оптимизация маршрутов и времени движения	Системы выбирают наименее загруженные и безопасные маршруты, избегая зон с высокой аварийностью.	Снижает общую экспозицию риску особенно в «опасных» часах (ночь, пиковые нагрузки).

Таким образом, повышение безопасности у беспилотных автомобилей происходит не за счёт одного компонента, а благодаря системному устранению основных причин дорожно-транспортных происшествий с участием человека. Этот фактор со временем становится более значимым, так как система непрерывно учится, обновляет данные и нарабатывает опыт, что практически недоступно человеку.

2.3. Риски и ограничения, связанные с внедрением беспилотных систем

Беспилотные системы управления обладают огромным потенциалом, они призваны улучшить дорожное движение и жизнь человека в целом. Они призваны не только повысить мобильность пожилых людей и инвалидов, но и для удобства и эффективности.

Разработчики ожидают, что высокий уровень автоматизации предотвратит дорожно-транспортные происшествия, так как по результатам исследований 94% аварий связаны с человеческим фактором. Также можно предположить, что использование подобных автомобилей снизит выбросы углерода и повысить качество жизни.

Из новейших разработок можно выделить оснащение передовыми системами помощи водителю, именно они не дают возможности съехать с полосы, становятся помощниками во время экстренных остановок, а также могут подстраивать скорость под поток. У компании General Motors разработана система Super Cruise, которая способна управлять рулем и регулировать ускорение во время движения по автострадам. Honda использует функцию TrafficJam Assist, которая помогает во время движения в пробках, отвечает за ускорение, торможение и управление руля. Tesla позиционирует свою функцию «Полное самостоятельное вождение» (FSD) как шаг к полной автономии [11].

Учитывая все достоинства беспилотного автомобиля для человека и транспортной безопасности, необходимо отметить и трудности, с которыми сталкивается массовое внедрение. существует целый ряд рисков социального, правового, этического и технического характера, поэтому требуется комплексный подход к тестированию, регулированию и общественному принятию.

У беспилотных автомобилей могут быть технические сбои. Данные транспортные средства уязвимы действиям кибератак, влияющих не только на

сам автомобиль, но и нарушая процесс дорожного движения и угрожая жизни людей. Например, у компании Tesla были случаи столкновения беспилотных машин с припаркованными машинами скорой помощи, а модели Model 3 и Model Y использовали «фантомное торможение».

В правовом поле отсутствуют единые нормативные рамки. В большинстве стран правила локальные, а законодательство, регулирующее действия автономного транспорта, отсутствует. При возникновении аварии непонятно кто понесет ответственность – водитель, производитель или разработчик программного обеспечения. На глобальном уровне внедрение технологий несет риск и несогласованность, так как нет четких распределений ответственности и стандартизированных требований к безопасности [3].

Основные риски использования беспилотных автомобилей представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Риски использования беспилотных автомобилей

№	Риск / Ограничение	Описание	Последствия
1	Ограниченная устойчивость к экстремальным погодным условиям	Сенсоры (LiDAR, камеры) могут терять точность при сильном дожде, снегопаде, тумане или ослепляющем свете.	Снижение надёжности восприятия среды → риск столкновений или остановки системы.
2	Неспособность интерпретировать нестандартные сценарии	Системы плохо справляются с непредсказуемыми ситуациями - дорожные работы без разметки, жесты регулировщиков, поведение животных,	«Неизвестные» сценарии могут привести к ошибочным решениям

№	Риск / Ограничение	Описание	Последствия
		нестандартные ТС.	
3	Зависимость от данных и качества обучения	Алгоритмы обучаются на исторических данных, если в них есть смещения (например, недостаток данных о пешеходах с инвалидностью), система может быть несправедливой.	Риск дискриминации по типу пользователя, месту проживания или физическим характеристикам.
4	Кибербезопасность и уязвимости к взлому	БПА - сложные сети с множеством точек входа (CAN-шины, V2X, облако). Взлом может привести к дистанционному управлению или саботажу.	Риск массовых атак, угроза жизни пассажиров и пешеходов.
5	Проблемы ответственности и правоприменения	Кто несёт ответственность при аварии - производитель, разработчик ПО, владелец, оператор?	Юридическая неопределённость замедляет внедрение и страхование.
6	Социальное сопротивление и недоверие	Пассажиры и общественность скептически относятся к	Замедление принятия технологии, снижение спроса,

№	Риск / Ограничение	Описание	Последствия
		автономному вождению из-за медиа-инцидентов и отсутствия прозрачности.	политическое давление.
7	Инфраструктурная несовместимость	Многие дороги не оснащены V2X-инфраструктурой, разметкой или цифровыми знаками, необходимыми для высокой автономности.	БПА вынуждены работать в «режиме ограниченной автономности», снижая эффективность.
8	Этические вопросы в принятии решений	В критической ситуации (например, выбор между ударом по пешеходу или пассажиру) - как должна решать система?	Отсутствие универсального «этического алгоритма» вызывает общественные дебаты и правовые риски.
9	Высокая стоимость и сложность обслуживания	Системы с LiDAR, множеством камер и мощными процессорами требуют дорогостоящего ремонта и специализированной диагностики.	Замедление массового внедрения, особенно в развивающихся странах.
10	Риск	Автономизация	Социальные

№	Риск / Ограничение	Описание	Последствия
	«технологического безработного» и социального неравенства	транспорта может вытеснить миллионы водителей (грузовики, такси, общественный транспорт).	потрясения, рост безработицы, необходимость переквалификации.

При анализе данных из таблицы можно сделать вывод, что для внедрения беспилотных транспортных систем необходимы проработки целого ряда вопросов.

2.4. Этические и правовые аспекты обеспечения безопасности

Этические проблемы при обеспечении безопасности во время движения беспилотного транспортного средства вызывают ряд вопросов. Когда система должна выбрать между минимизацией ущерба для пассажиров и защитой пешеходов, на каких принципах должно основываться её решение?[6]

В алгоритм управления заложены правила, которые отражают культурные, социальные и коммерческие предпочтения. Все это ставит под вопрос нейтральность и справедливость работы искусственного интеллекта в нестандартных ситуациях. Отсутствие прозрачности в логике принятия решений дает затруднения для этической оценки и общественного принятия таких систем, особенно если действия транспорта приводит к серьезным травмам или смерти.

Правовая сторона вопроса также перестает работать. Традиционная система ответственности не подходит, вины водителя не может быть. При дорожно-транспортном происшествии из-за нарушения программного обеспечения или ошибок датчиков кто должен нести юридическую ответственность не установлено. Законодательство не адаптировано под данный вид транспорта. Данные вопросы требуют пересмотра законов о

гражданской ответственности, страховании и сертификации автономных систем.

Отсутствие четких регламентов в законодательном плане сдерживает развитие и эксплуатацию беспилотного транспорта в России. Для успешного функционирования необходимо качественно продумать и разработать [17]:

- меры ответственности за преступления, связанные с беспилотными автомобилями, в том числе и уголовной ответственности;
- правила эксплуатации беспилотных средств всех уровней;
- порядок ответственности за нарушение правил эксплуатации, в том числе с возмещением ущерба при ДТП;
- порядок допуска беспилотных автомобилей на дороги общего пользования.

Важным вопросом юридическим является обеспечение защиты данных. Поскольку беспилотные автомобили собирают и обрабатывают огромные объемы информации о своем окружении и пользователях, это создает риски для конфиденциальности и безопасности личных данных, что также требует разработки новых законодательных инициатив. Необходимо создать правовую основу для защиты данных, которая смогла соответствовать современным требованиям. К такой информации можно отнести данные о маршрутах, поведении водителей, предпочтениях пользователей и о состоянии здоровья пассажиров. В условиях, когда кибератаки становятся все более изощренными, защита этих данных становится критически важной. Уязвимость данных может не только нарушить права пользователей, но и поставить под угрозу их безопасность. В связи с этим возникает необходимость разработки новых законодательных инициатив, направленных на защиту личных данных в контексте использования беспилотных автомобилей.

Поэтому устойчивое развитие отрасли беспилотных автомобилей возможно только при согласовании с правовыми и этическими нормами. Все заложенные в систему алгоритмы должны быть прозрачны, а отчеты о принятых решениях публичны. Правительства стран должны работать в

тандеме с разработчиками, юристами и этическими комиссиями, соблюдая приоритет человеческой жизни и нанесение минимального вреда. Безопасность беспилотных транспортных средств будет обеспечена только при строгом сочетании строгого регулирования, технологической прозрачности и этической ответственности [2].

Вывод: несмотря на значительный потенциал беспилотных систем в снижении аварийности за счёт устранения человеческого фактора, их безопасность требует критической переоценки статистики. Реальные достижения, такие как на 80–91% меньшее число травмированных в тестовых зонах, подтверждают, что автономные технологии уже сегодня превосходят людей в предотвращении серьёзных ДТП. Однако для масштабного внедрения необходимо решить комплекс этических и правовых проблем от прозрачности алгоритмов до чёткого распределения ответственности и создать унифицированную, адаптивную нормативную базу, основанную на принципах безопасности, справедливости и подотчётности.

ГЛАВА 3. ПРАКТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ

3.1. Методика оценки влияния беспилотных технологий на безопасность (анализ кейсов, моделирование ситуаций)

Для оценки показателя безопасности при эксплуатации беспилотных автомобилей применяется комплексный подход, который сочетает эмпирические методы, симуляционное моделирование и анализ реальных данных.

Составим таблицу 8 для наглядного анализа возможных методов изучения безопасности беспилотного автомобиля.

Таблица 8 – Методики оценки влияния беспилотных технологий на безопасность.

Метод	Описание
Анализ реальных ДТП	Сравнение статистики аварий с участием БПА и традиционных автомобилей.
Симуляционное моделирование	Использование программ CARLA, matlab/Simulink, AnyLogic для тестирования аварийных ситуаций.
Кейс-стади	Изучение реальных инцидентов (например, аварии Uber 2018, Tesla 2016).
Экспериментальные тесты	Испытания в контролируемых условиях (например, тестовые полигоны Waymo, немецкий центр AV-Testing).
Математическое моделирование	Расчет вероятности ДТП на основе алгоритмов машинного обучения и нейронных сетей.

Все представленные методы дополняют друг друга и обеспечивают многоплановую оценку параметра безопасности с различных сторон.

Оценка безопасности основывается на определенных качественных и количественных показателях, к которым можно отнести:

- уровень аварийности;
- время реакции;
- вероятность ошибки;
- число смертельных исходов.

В совокупности эти показатели позволяют оценивать не только техническую, но и функциональную безопасность беспилотных технологий.

3.2. Результаты тестирования беспилотных систем на примере современных моделей автомобилей

В настоящее время рынок беспилотных транспортных средств достаточно обширный. Самыми популярными компаниями-изготовителями автомобилей являются - Tesla (Автопилот и Full Self-Driving), Waymo (Google's autonomous division), Mobileye (Intel), Cruise (General Motors) и Baidu Apollo (Китай). Их системы охватывают разные уровни автономности от частичной автоматизации (L2+) до высокоавтономных роботов (L4) [18].

FSD (Supervised) (Full Self-Driving с контролем водителя) — это продвинутая система помощи водителю от Tesla. Она самостоятельно управляет машиной, проезжает перекрестки, совершает повороты и паркуется, но требует постоянного внимания и готовности человека вмешаться в управление. Внешний вид автомобиля компании-разработчика представлен на рисунке 8.



Рисунок 8 – Автомобиль Tesla

Waymo не производит автомобили самостоятельно, а покупает транспортные средства у других автопроизводителей (например, Jaguar, Hyundai, Zeekr) и дорабатывает их, оснащая собственным набором сенсоров и программным обеспечением. Внешний вид автомобиля компании-разработчика представлен на рисунке 9.



Рисунок 9 – Автомобиль-такси Waymo

Mobileye- хай-тек-компания из Израиля, активно разрабатывающая развитые системы помощи водителю (ADAS) для снижения опасности

столкновения. Внешний вид автомобиля компании-разработчика представлен на рисунке 10.



Рисунок 10 - Автомобиль Mobileye

Baidu Apollo- это разработка беспилотного автомобиля китайской технологической компании Baidu. Система включает не только конкретные модели автомобилей, но и открытую платформу для разработки автономных транспортных средств с использованием ИИ, машинного обучения и открытой архитектуры. Внешний вид автомобиля компании-разработчика представлен на рисунке 11.



Рисунок 11 - Автомобиль Baidu Apollo

У каждой компании-производителя используются свои технические характеристики и применяемые средства (процессоры, лидары и алгоритмы). Транспортные средства также создаются с различными целями – от пилотных проектов до массового потребления. Анализ разработок данных компаний позволит выявить достоинства и недостатки беспилотных автомобилей и определить тенденции развития [12].

В таблице 9 приведем результаты реальных испытаний вышеперечисленных автомобилей.

Таблица 9 – Результаты реальных испытаний (2020–2024 гг.)

Производитель	Модель/Платформа	Уровень автономности (SAE J3016)	Общий пробег (млн миль)	Количество аварий	Причины аварий	Уровень снижения ДТП, %
Waymo	Waymo Driver (Chrysler Pacifica)	Level 4 (в ограниченных зонах)	30+	12	Ошибка пешехода (100%)	94% (vs. человек)
Tesla	Full Self-Driving (FSD) v12.4	Level 2+ (бета-тестирование)	5+	1 200+	Человеческий фактор (водитель не следит)	~50% (лобовые)
Mobileye	SuperVision (BMW, Volvo)	Level 2–3	10	8	Ошибка распознавания знаков	~60%
Cruise	Cruise AV (GM)	Level 4 (Сан-Франциско, 2024)	5	0	—	100% (в тестовой зоне)
Baidu Apollo	Apollo RT6 (Robotaxi)	Level 4 (Китай)	15	2	Внезапное появление	~85%

					велосипед иста	
--	--	--	--	--	-------------------	--

Как видно из таблицы, в реальных условиях эксплуатации беспилотные системы демонстрируют разную эффективность. Компании используют разнонаправленные подходы к решению задач автономного вождения. Автомобиль Waymo является лидером по количеству пройденных миль, также у него низкий показатель аварийности. Компания использует LiDAR-сенсоры и нейросетевые алгоритмы, оптимизированные для сложных городских сценариев. У Tesla ограниченный уровень автономности приводит к ложным срабатываниям и ручному вмешательству, что повышает риски ДТП. У остальных марок относительно небольшой пробег с минимальным количеством аварий. Текущие результаты свидетельствуют о том, что полностью автономные системы (L4/L5) в настоящее время требуют значительных доработок, особенно в области адаптивности к непредсказуемому поведению участников дорожного движения, работы в сложных погодных условиях и взаимодействия с традиционным транспортом [4].

3.3. Сравнительный анализ эффективности различных типов беспилотных систем

Разработчики беспилотных автомобилей проводят тестирования по параметрам, отвечающим за безопасность. В таблице 10 проведем сравнительный анализ эффективности беспилотных автомобилей различных уровней и их параметров.

Таблица 10 -Сравнение производительности по параметрам

Параметр	Waymo (L4)	Tesla (L2+)	Mobileye (L2–3)	Cruise (L4, 2024)
Точность распознавания пешеходов	99.9%	95%	98%	99.8% (после обновления)

Время реакции на препятствие	0.05 сек	0.3 сек	0.1 сек	0.08 сек
Эффективность в дождь/снег	Высокая (LiDAR)	Средняя (камеры)	Низкая (без LiDAR)	Высокая (LiDAR + камеры)
Стоимость системы на авто	~\$150 000 (для Level 4)	~\$8 000 (входит в цену Tesla)	~\$30 000 (дополнительно)	~\$100 000 (Robotaxi)
Годовой пробег в тестах (млн миль)	30+	5+	10	5 (2024)

Анализируя данные таблицы, можно сделать вывод, что эффективность беспилотных технологий напрямую зависит от глубины интеграции аппаратного обеспечения с программными решениями, где нейросетевые архитектуры демонстрируют наибольшую точность в интерпретации динамических дорожных сцен, но требуют вычислительных мощностей и обучения. Без оснащения автомобиля дорогостоящим оборудованием - лидарами, камерами и радаром управление невозможно. Нейросети с возможностями самообучения помогают развивать системы в нужном направлении.

3.4. Рекомендации по повышению безопасности при эксплуатации беспилотных автомобилей

У беспилотных автомобилей в настоящее время уже огромные возможности управления, оснащения и развития. Но безопасность при эксплуатации остается уязвимой и требует решения под разными точками зрения. Нестандартные ситуации на дорогах возникают постоянно, и они не всегда связаны с разработанными технологиями.

Проведем разработку рекомендаций, которые повысят безопасность во время движения беспилотных автотранспортных средств:

1. Усовершенствование технических и алгоритмических решений

С технической стороны модернизации должны подвергаться различные сенсоры транспорта. При сложных условиях погоды (туман, метель, снегопад или ливень) необходимо расширять возможности применяемого оборудования или разрабатывать альтернативные. Алгоритмы искусственного интеллекта должны постоянно обучать систему действиям в нестандартных ситуациях при взаимодействии с велосипедистами, пешеходами, неожиданными препятствиями. Также необходимо

2. Разработка строгих нормативно-правовых и сертификационных стандартов

Юридические проблемы должны решаться комплексно, необходимо создание единых международных стандартов, которые будут регламентировать сертификацию, тестирование и эксплуатацию автономных транспортных средств. Распределение правовой ответственности должно зависеть от уровня автоматизации – разработчик, оператор, владелец. На государственном уровне контроль должен включать аудиты безопасности и лицензии.

3. Модернизация дорожной инфраструктуры

В настоящее время даже самым техническим умным автомобилям тяжело функционировать в массовом режиме, так как дорожная инфраструктура не подготовлена. Для безопасного использования беспилотных автомобилей необходимо оснастить трассы интеллектуальными светофорами, дорожной разметкой с QR-кодами для идентификации участками датчиками мониторинга состояния покрытия. Еще одним решением для увеличения безопасности можно считать разделение полос и выделение специальной полосы для данной категории транспорта. Важно также разработать единые протоколы взаимодействия между автономными системами разных производителей, чтобы исключить конфликты алгоритмов на дорогах.

4. Образовательные кампании и формирование культуры безопасности

В системе дорожно-транспортного движения самое неустойчивое положение у человека. В любой роли (пассажир или участник дорожного движения) человек не является подготовленным к взаимодействию, у него отсутствуют навыки и способности для выхода из сложившейся ситуации, поэтому одним из вариантов решения данной проблемы является обучение. Живым водителям, которые привыкли к неформальным правилам вождения автомобилями, необходимо будет приспособиться под стиль управления транспортным средством роботом с идеальным соблюдением правил. Процесс перестройки займет определенное время.

Обучающие программы должны помочь людям понять правила передвижения с учетом смешанного потока, дать представление пешеходам и велосипедистам о новом виде транспорта, обучить операторов, которые управляют гибридными системами и повысить знания о беспилотных технологиях в целом.

Все вышеперечисленные мероприятия нужно рассматривать и реализовывать как единое целое.

Вывод: беспилотные автомобили могут быть более безопасны в сравнении с обычными транспортными средствами под управлением человека. Уровень безопасности прямо пропорционален уровню автономности, а также качеству оборудования. Чтобы данная категория машин могла безопасно перемещаться в городской среде, необходимы подготовка дорожной инфраструктуры, решение вопросов правовых и техническая инновация.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе рассмотрены вопросы влияния беспилотных транспортных систем на безопасность автомобилей. В настоящее время применение беспилотного транспорта является перспективным направлением во многих отраслях. Передвижение без участия человека не только снижает риски получения травм, но и экономит ресурсы. Внедрение данных систем внесет изменения на экономическом уровне, создаст новые производственные рынки, изменит уровень спроса и предложения на традиционные транспортные услуги, сократит рабочие места и снизит загруженность автомастерских и страховых компаний.

Статистические данные компаний-разработчиков подтверждают гипотезу, что снижение доли участия человека уменьшает количество дорожно-транспортных происшествий и их тяжесть.

Но говорить о массовом внедрении пока рано. Современный мир не готов для реализации масштабных предложений. Чтобы такой транспорт мог безопасно функционировать в мире, необходима качественная системная подготовка. Нужно проработать ГОСТы и правила с правовой точки зрения, создать базу правил для всех категорий и участников дорожного движения. Это поможет четко и однообразно расценивать спорные ситуации, возникающие при эксплуатации машин по всему миру. Вторым важным шагом должно стать оснащение и перевооружение дорожной инфраструктуры. На данный момент отсутствие специальной дорожной разметки, наличия кваркоделии связи на определенных территориях делают невозможным передвижение беспилотного транспорта. Оснащение самой конструкции автомобиля более новыми устройствами и учет передвижения в сложных условиях окружающей среды, разработка устройств для данных условий также влияет на безопасность.

Участниками дорожного движения являются не только автомобили, но и люди. Не все категории обладают достаточными знаниями для взаимодействия с беспилотным транспортом и опытом, поэтому необходимо проводить

обучения, рассказывать в средствах массовой информации о правилах поведения, расширять знания и представления.

Перечисленные мероприятия в комплексе создают безопасную основу для функционирования нового вида транспорта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Baidu обогнала Waymo в калифорнийском рейтинге самостоятельности беспилотников. — URL: <https://nplus1.ru/news/2020/02/28/dmv-report?ysclid=mq8z01znbm820845119> (дата обращения: 21.05.2026).
2. Артамонова, С. Н. Формирование правовых основ обеспечения безопасности автомобильного транспорта в России // Транспортное право и безопасность. — 2018. — № 1(25). — С. 201—208.
3. Белов, С. В. Беспилотные транспортные системы: основы проектирования и управления / С. В. Белов, А. Н. Соколов. — СПб.: Лань, 2022. — 288 с.
4. Беспилотные авто опаснее обычных. — URL: <https://www.computerra.ru/288319/bespilotnye-avto-opasnee-obychnyh/?ysclid=mowmgfevmj373265230> (дата обращения: 21.05.2026).
5. В России подсчитали число аварий с беспилотными машинами. — URL: https://4pda.to/2025/02/06/438344/v_rossii_podschitali_chislo_avarij_s_bespilotnymi_mashinami/?ysclid=mowmho8jnc177335637 (дата обращения: 21.05.2026).
6. ГОСТ 7.32-2017 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления
7. Добровольский Е.А., Добровольская А.А. Принципиальные подходы к реализации подсистемы восприятия беспилотного автомобиля Системный анализ и логистика. 2023. № 2 (36). С. 98-104.
8. Григорьев, А. Л. Автономные системы управления для беспилотных транспортных средств / А. Л. Григорьев, П. С. Кузнецов. — М.: Юрайт, 2022. — 304 с.

9. Жуков, А.Н. Беспилотный автомобиль, как способ повышения транспортной безопасности Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. 2023. Т. 14. № 6. С. 18-22.

10. Золкин, А. Л. Проектирование и разработка систем управления беспилотных транспортных средств: учебное пособие для вузов / А. Л. Золкин. — Санкт-Петербург: Лань, 2025. — 152 с. — ISBN 978-5-507-52886-8. — Текст : электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/502481> (дата обращения: 21.05.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

11. Золкин, А. Л. Технологии искусственного интеллекта в управлении движением беспилотных автомобилей: учебное пособие для вузов / А. Л. Золкин, Р. А. Вербицкий. — Санкт-Петербург: Лань, 2025. — 120 с. — ISBN 978-5-507-51459-5. — Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/450818> (дата обращения: 23.05.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

12. Куверин, И.Ю., Гусев, С.А., Блинов, Д.Г. Безопасность автономных транспортных средств: комплексный анализ и стратегические перспективы Интеллектуальный транспорт. 2025. Т. 9. № 4 (36). С. 102-115.

13. Макаров, Л. М. Проектирование беспилотных транспортных средств: учебное пособие / Л. М. Макаров. — Санкт-Петербург: СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича, 2023. — 107 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/381488> — Режим доступа: для авториз. пользователей.

14. Макаров, Л. М. Эскизное проектирование беспилотных транспортных средств : учебное пособие : [16+] / Л. М. Макаров. – Москва; Вологда: ИнфраИнженерия, 2024. – 116 с.

15. Макаров, М. И. Симуляторы беспилотного наземного транспорта, применяемые для моделирования движения по пересеченной местности / М. И. Макаров, Н. А. Коргин, А. А. Пыжьянов // Проблемы управления. – 2025. – № 1. – С. 3-15.

16. Мэн, Цзысинь. История развития и анализ технологии беспилотных автомобилей / Цзысинь Мэн. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2025. — № 7 (558). — С. 26-30. — URL: <https://moluch.ru/archive/558/122638>. (дата обращения: 21.05.2026).

17. Низамутдинов, М.Х., Иванова, О.В., Шамсутдинов, Д.М., Набиев, Р.И., Махмутов, Ю.М., Алексеев, А.В. Виды беспилотных наземных транспортных средств и их классификации Транспорт и информационные технологии. 2025. Т. 15. № 4. С. 80-104.

18. Ризаева, Ю. Н. Беспилотные транспортные средства: Практикум: учебное пособие / Ю. Н. Ризаева. — Москва : РТУ МИРЭА, 2025. — 22 с.

19. Робомобили Waymo в 10 раз безопаснее, чем водители-люди. — URL: <https://hightech.plus/2023/12/24/robomobili-waymo-v-10-raz-bezopasnee-chem-voditeli-lyudi> (дата обращения: 21.05.2026).

20. Сеидов, А., Дурдыев, О., Ибрагимова, Х., Мухамметбердиева, Б. Этические и правовые вопросы беспилотных автомобилей Символ науки: международный научный журнал. 2024. Т. 1. № 11-1. С. 96-97.

21. Статистические данные компании Waymo. — URL: <https://zipdo.co/waymo-statistics/> (дата обращения: 21.05.2026).

22. Чубарова, М.Д. Беспилотные транспортные средства: правовое регулирование и ответственность. В сборнике: Человек. Знак. Техника. Сборник статей III Международного междисциплинарного молодёжного форума. Самара, 2024. С. 205-209.

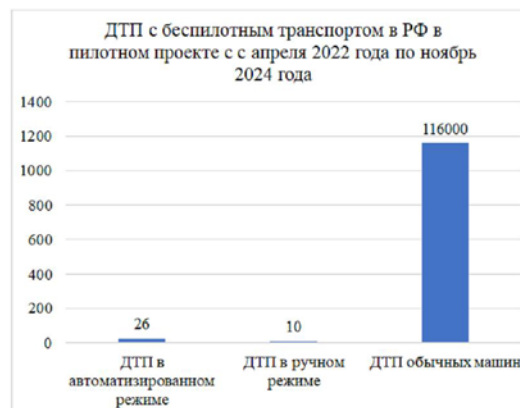
23. Чикрин, Д.Е., Кокунин, П.А., Пашин, Д.М., Галиуллин, И.Г., Тимершин, Б.А. Основные принципы построения архитектур информационных систем беспилотных транспортных средств Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2024. Т. 26. № 4 (120). С. 131-142.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Статистические данные по аварийности

*Сравнительный анализ показателей безопасности
(данные за 2023-2025 гг.)*

Показатель	Беспилотные автомобили (Уровень 4, напр. <i>Waymo</i>)
Аварии с серьезными травмами	На 91% ниже среднего показателя по городам тестирования
Аварии с любыми травмами	На 80% ниже среднего показателя по городам тестирования
Общее количество инцидентов (на 1 млн миль)	9.1 (включая мелкие касания, без травм)
Точность предсказания водительских событий	93.61% (на основе анализа ЭЭГ-сигналов в симуляторе)

[illegible]

Копировал

Формат А3

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Сравнительный анализ эффективности различных типов беспилотных систем

Параметр	Waymo (L4)	Tesla (L2+)	Mobileye (L2-3)	Cruise (L4, 2024)
Точность распознавания пешеходов	99.9%	95%	98%	99.8% (после обновления)
Время реакции на препятствие	0.05 сек	0.3 сек	0.1 сек	0.08 сек
Эффективность в дождь/снег	Высокая (LiDAR)	Средняя (камеры)	Низкая (без LiDAR)	Высокая (LiDAR + камеры)
Стоимость системы на авто	~\$150 000 (для Level 4)	~\$8 000 (входит в цену Tesla)	~\$30 000 (дополнительно)	~\$100 000 (Robotaxi)
Годовой пробег в тестах (млн миль)	30+	5+	10	5

Перед. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Анализ эффективности	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.								1:1
Проб.						Лист	Листов	1
Т.контр.								
Н.контр.								
Утв.								

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Эволюция беспилотных автомобилей

1925	Первый радиоуправляемый автомобиль (США). Базовые команды через радио.
1930	Концепт " Футурама " (General Motors). Видение автоматического транспорта без технической реализации.
1970-е	Появление робота Shakey (США). Первый мобильный робот с анализом действий.
1977	Беспилотник с видеокамерами (Япония). Скорость 30 км/ч, распознавание разметки.
1980	Беспилотный фургон (Германия). Скорость 95,9 км/ч, управление посредством компьютерного зрения.
1986	Система NavLab (США). Первые нейронные сети для контроля скорости и направления.
2005-2010	Массовые исследования автономных технологий. Использование LiDAR, GPS, радарных систем .
2015-2017	Запуск первых робо-такси (Waymo, Cruise) и свертывание проектов к 2024 году из-за экономической неэффективности.
2019	Рекорд скорости беспилотника — 282,42 км/ч .
2020-е	Внедрение регуляторных актов для беспилотных систем. Развитие гибридных и связанных технологий (V2X).

Справ. №	Перв. примен.

ИНБ. № подл.	Подп. и дата	Взам. инб. №	ИНБ. № дубл.	Подп. и дата

[illegible]

Копировал

Формат А3