

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

Факультет: Профессионального образования

Кафедра: Общенаучных дисциплин

Направление подготовки: 23.03.03 Эксплуатация транспортно-
технологических машин и комплексов

Направленность (профиль): Эксплуатация наземных транспортных,
технологических и беспилотных машин

Костарева Наталия Владимировна, студент кафедры Общенаучных
дисциплин, Лысьвенский филиал федерального государственного
автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский
национальный исследовательский политехнический университет», Лысьва

**АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ СФЕРЫ
БЕСПИЛОТНОГО АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА**

Аннотация

В работе представлен комплексный анализ беспилотных автомобильных систем (БАС) и их влияния на безопасность дорожного движения. Рассматриваются теоретические основы, эволюция технологий, современное состояние отрасли, а также ключевые вызовы на пути к массовому внедрению автономного транспорта.

В тексте подробно освещаются следующие аспекты:

- **Понятие и классификация:** Дается определение БАС как киберфизических систем и приводится их классификация по габаритам, назначению, типу привода, уровню автономности (от L0 до L5) и конструкции.
- **Эволюция технологий:** Прослеживается исторический путь развития от первых радиоуправляемых моделей до современных систем с искусственным интеллектом, компьютерным зрением и V2X-коммуникациями.
- **Архитектура и компоненты:** Описывается модульная структура беспилотного автомобиля, включающая сенсорные системы (лидары, камеры), системы локализации, вычислительные платформы, алгоритмы принятия решений и исполнительные механизмы.
- **Статистика безопасности:** Проводится критический анализ статистики аварийности. Отмечается, что прямое сравнение «сырых» данных некорректно из-за особенностей телеметрии и условий эксплуатации.

При корректном сравнении в идентичных условиях беспилотники (уровня L4) демонстрируют снижение числа аварий с серьезными травмами на 91% и с любыми травмами на 80% по сравнению с водителями-людьми.

- **Нормативно-правовая база:** Анализируются международные стандарты (ISO 26262, ISO/SAE 21434) и российская нормативная база (ГОСТ Р ИСО), подчеркивается необходимость их дальнейшей синхронизации и адаптации для обеспечения конкурентоспособности.
- **Этические и правовые аспекты:** Обсуждается проблема распределения ответственности при ДТП, «дилемма трамвая» и необходимость создания этических рамок и прозрачных алгоритмов для принятия решений в критических ситуациях.

Вывод: Несмотря на значительный технологический прогресс и доказанный потенциал в снижении тяжести ДТП за счет исключения человеческого фактора, повсеместное внедрение беспилотного транспорта сдерживается инфраструктурными ограничениями, пробелами в законодательстве и нерешенными этическими вопросами. В ближайшие годы внедрение технологии будет носить нишевый характер (логистика, закрытые территории), а для перехода к массовому использованию требуется решение комплекса правовых и инфраструктурных задач.

Abstract

This paper presents a comprehensive analysis of Unmanned Automotive Systems (UAS) and their impact on road safety. The study covers the theoretical foundations, technological evolution, current state of the industry, and key challenges on the path to the mass adoption of autonomous vehicles.

The text provides an in-depth examination of the following aspects:

- **Concept and Classification:** Defines UAS as cyber-physical systems and provides a classification based on size, functional purpose, drive type, level of autonomy (from L0 to L5), and design.
- **Evolution of Technologies:** Traces the historical development from the first radio-controlled models to modern systems utilizing artificial intelligence, computer vision, and V2X communications.
- **Architecture and Components:** Describes the modular structure of an autonomous vehicle, including sensor systems (LiDAR, cameras), localization systems, computing platforms, decision-making algorithms, and actuators.
- **Safety Statistics:** Conducts a critical analysis of accident rate statistics. It notes that direct comparison of "raw" data is incorrect due to telemetry features and operating conditions. When compared fairly in identical conditions, Level 4 autonomous vehicles demonstrate a 91% reduction in

accidents with serious injuries and an 80% reduction in accidents with any injuries compared to human drivers.

- **Regulatory and Legal Framework:** Analyzes international standards (ISO 26262, ISO/SAE 21434) and the Russian regulatory framework (GOST R ISO), emphasizing the need for further synchronization and adaptation to ensure competitiveness.
- **Ethical and Legal Aspects:** Discusses the problem of liability allocation in road accidents, the "trolley problem," and the necessity of creating ethical frameworks and transparent algorithms for decision-making in critical situations.

Conclusion: Despite significant technological progress and proven potential for reducing accident severity by eliminating the human factor, the widespread implementation of autonomous transport is hindered by infrastructure limitations, legislative gaps, and unresolved ethical issues. In the coming years, the adoption of this technology will be niche-focused (logistics, closed territories), and a transition to mass use requires solving a complex set of legal and infrastructural challenges.

Ключевые слова: беспилотная техника, кафедра технических дисциплин

Keywords: Unmanned Vehicles, Department of Technical Disciplines

Литература

1. Беспилотные авто опаснее обычных
<https://www.computerra.ru/288319/bespilotnye-avto-opasnee-obychnyh/?ysclid=mowmgfevmj373265230>
2. В России подсчитали число аварий с беспилотными машинами
https://4pda.to/2025/02/06/438344/v_rossii_podschitali_chislo_avarij_s_bespilotnymi_mashinami/?ysclid=mowmho8jnc177335637
3. 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.
4. Макаров, Л. М. Проектирование беспилотных транспортных средств: учебное пособие / Л. М. Макаров. — СанктПетербург : 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.

5. 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.

6. 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.

Literature

1. Беспилотные авто опаснее обычных. *Computerra.ru*, 2025. URL: <https://www.computerra.ru/288319/bespilotnye-avto-opasnee-obychnyh/?ysclid=mowmgfevmj373265230>. (*Unmanned cars are more dangerous than conventional ones. Computerra.ru, 2025. URL: https://www.computerra.ru/288319/bespilotnye-avto-opasnee-obychnyh/?ysclid=mowmgfevmj373265230*.)

2. В России подсчитали число аварий с беспилотными машинами. *4pda.to*, 2025. URL: https://4pda.to/2025/02/06/438344/v_rossii_podschitali_chislo_avarij_s_bespilotnymi_mashinami/?ysclid=mowmho8jnc177335637. (*The number of accidents involving unmanned vehicles was calculated in Russia. 4pda.to, 2025. URL: https://4pda.to/2025/02/06/438344/v_rossii_podschitali_chislo_avarij_s_bespilotnymi_mashinami/?ysclid=mowmho8jnc177335637*.)

3. Kuverin I.Y., Gusev S.A., Blinov D.G. Safety of Autonomous Vehicles: Comprehensive Analysis and Strategic Prospects. *Intelligent Transport*. 2025, vol. 9, no. 4 (36), pp. 102-115.

4. Makarov L.M. *Design of Unmanned Vehicles: A Textbook*. Saint Pyotrsburg: Bonch-Bruevich Saint Pyotrsburg State University of Telecommunications (SPbSUT), 2023. 107 p. Text: electronic // Lan' e-library system. URL: <https://e.lanbook.com/book/381488>. Access mode: for authorized users.

5. Seidov A., Durdyev O., Ibragimova K., Muhammetberdieva B. Ethical and Legal Issues of Autonomous Vehicles. *Symbol of Science: International Scientific Journal*. 2024, vol. 1, no. 11-1, pp. 96-97.

6. Chubarova M.D. Unmanned Vehicles: Legal Regulation and Liability. In: *Man. Sign. Technique*. Collection of articles from the III International Interdisciplinary Youth Forum. Samara, 2024, pp. 205-209.

Содержание

Введение	7
Анализ современного состояния сферы беспилотного автомобильного транспорта	8
1. Понятие и классификация беспилотных автомобильных систем	8
2. Эволюция технологий автоматизации управления автомобилем.....	12
3. Современные компоненты и архитектура беспилотных систем.....	17
4. Международные и российские стандарты безопасности для беспилотных автомобилей	20
5. Статистика аварийности: сравнение традиционных и беспилотных автомобилей	22
6. Этические и правовые аспекты обеспечения безопасности.....	26
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	29
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ.....	31

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.

Анализ современного состояния сферы беспилотного автомобильного транспорта

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, комфортного и эффективного передвижения при различных дорожных условиях с минимальным человеческим участием.

На рисунке 1 изображена комплексная классификация беспилотных транспортных средств.

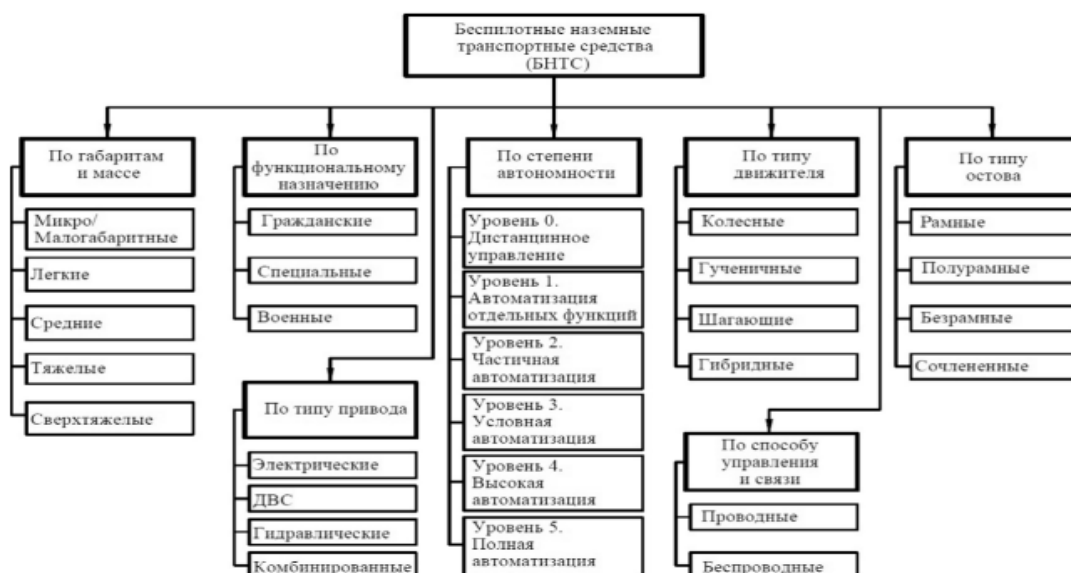


Рисунок 1 – Классификация беспилотных транспортных средств

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 - создаются для работы в экстремальных средах. К ним можно отнести системы для подводных роботов, планетоходов, устройств для работы в зонах радиационного загрязнения или на высоких высотах. Военные беспилотные транспортные средства выполняют задачи разведки, обезвреживания взрывоопасных предметов, снабжения войск и тактической поддержки, часто оснащаясь броней, скрытностью и специализированными сенсорами для боевых условий.

3) По типу привода

По типу привода можно определить экологичность, мощность и надежность беспилотного транспортного средства. У электрических приводов питание возможно от аккумуляторов, солнечных панелей или топливных элементов. Они считаются наиболее экологичными и тихими, что делает их идеальными для городских и чувствительных сред. Применение двигателей внутреннего сгорания (ДВС) позволяет добиться высокой мощности и

дальности, но происходит выделение вредных выбросов. Это ограничивает применение данного вида автомобилей в экологически строгих зонах. У гидравлических систем можно отметить высокую нагрузочную способность и надежность как положительные стороны. 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:

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

ограниченно 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. Ведущие компании Waymo (Google), Cruise (General Motors), Tesla, BMW и Toyota занимаются разработками. Лидером по масштабам является США. У Waymo осуществляется коммерческие услуги беспилотных такси в Фениксе и Сан-Франциско. Компания Tesla предлагает функцию Full Self-Driving (FSD) в своих автомобилях, но с уровнем автономности L2–L3. В Европейских странах основное внимание в беспилотных автомобильных системах уделено 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. 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». 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].

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

2. Эволюция технологий автоматизации управления автомобилем

Развитие беспилотных автомобильных систем берет свое начало от дистанционно управляемых аппаратов. Развитие технологий возникло из идеи радиоуправляемого автомобиля.

Разработка первого радиоуправляемого автомобиля приходится на 1925 год. Американский автомобиль мог выполнять простейшие команды через сигнал радио – старт, поворот, движение назад. Это транспортное средство не было настоящим беспилотным, но его разработка открыла путь к дальнейшему развитию данного вида технологий и привлекла внимание общественности.

На 1930 год пришлась Всемирная выставка, где в качестве современного и дорогого экспоната был представлен автомобиль экспонат Нормана Бел Геддеса «Футурама», спонсированный General Motors.

В послевоенные годы был изобретен первый круиз-контроль как помощь водителю. Он способствовал развитию последующие технологий, таких как система предупреждения о фронтальном столкновении и система

предупреждения о сходе с полосы движения. Разработки стали частью определения беспилотных автомобилей в последующие годы.

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.

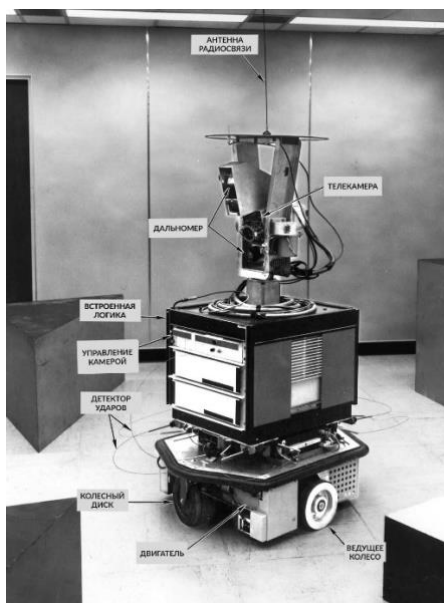


Рисунок 2 – Внешний вид робота

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 с 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.

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 1 представлены этапы эволюции транспортных систем.

Таблица 1 - 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, фонари 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 пешеходов	Toyota Safety Sense (2015), Tesla Autopilot (2014)	Ограниченная работоспособность в плохих погодных условиях
3. Частичная	2010–2020-е	Level 2–3 (условно автономный режим)	Камеры, лидары, радары, компьютерн	Tesla "Full Self-Driving" (Level 2),	Отсутствие полной ответственности за

автоматизация			ое зрение, обучение на больших данных	Waymo Driver (Level 4 в ограниченных зонах)	безопасность, регуляторные барьеры
4. Высокая автоматизация	С 2020-х	Level 3–4 (высокая автономия)	Глубокое обучение (AI/ML), V2X (обмен данными с инфраструктурой), цифровые двойники	Cruise (роботакси в Сан-Франциско), Zoox (беспилотные автомобили для доставок)	Высокая стоимость оборудования, этические и юридические вопросы
5. Полная автоматизация	После 2025*	Level 5 (полная автономия)	Интеграция с умными городами, квантовые вычисления, самообучающиеся системы без водителя	Проекты Waymo One (беспилотные такси без резервного водителя), российские решения для сельхозтехники	Необходимость пересмотра законодательства, общественное доверие, кибербезопасность

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

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 2 отражены основные компоненты беспилотных систем.

Таблица 1 - 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, предсказание	Глубокие нейронные сети (CNN, Transformer), Reinforcement Learning, Behavior Prediction Models, Occupancy Networks

	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 место расположения компонентов для автомобилей.

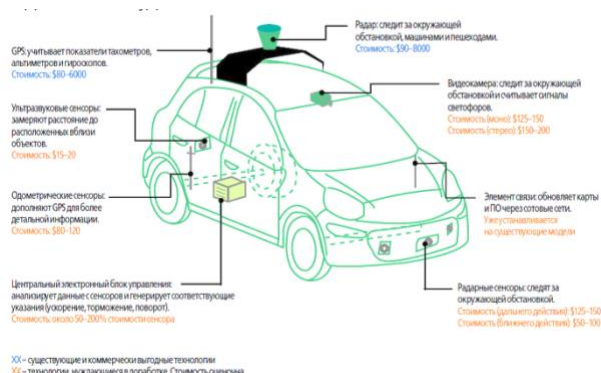


Рисунок 3 – Оснащение автомобиля компонентами

Рисунок 4 содержит информацию о типовой структуре системы. Она представляет многоуровневую, модульную систему, построенную на принципах избыточности, отказоустойчивости и реального времени обработки данных.

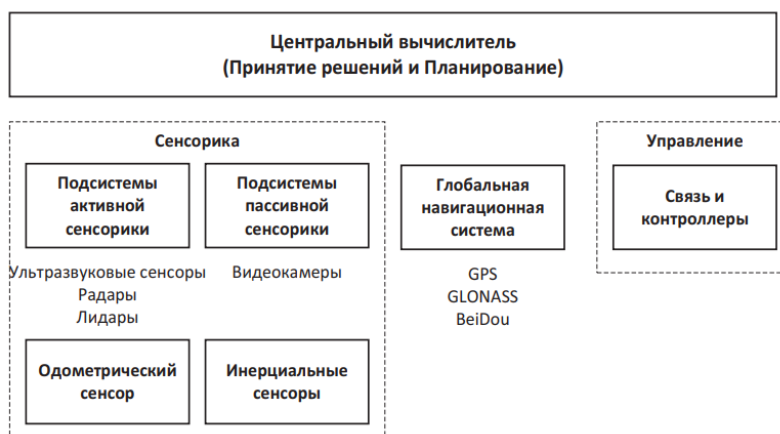


Рисунок 4 – Типовая структура

Все компоненты взаимосвязаны. Сенсорная система, модуль локализации, вычислительная платформа, алгоритм восприятия и принятия решений, система планирования движения и исполнительное управление работают в едином цикле.

Операции цикла выглядят следующим образом - восприятие окружающей среды → определение местоположения → прогнозирование поведения объектов → генерация безопасной траектории → точное управление исполнительными механизмами.

Такой вид архитектуры обеспечивает надёжность и масштабируемость с возможностью адаптации к динамичным условиям дорожной среды и интеграции обновлений программного обеспечения через облачные платформы.

4. Международные и российские стандарты безопасности для беспилотных автомобилей

Беспилотные транспортные системы становятся неотъемлемой частью будущего дорожного движения, и их внедрение требует строгого соблюдения стандартов безопасности. Основу норм составляют принципы функциональной безопасности, киберзащиты и надежности систем управления. Международные стандарты ISO 26262 и ISO/SAE 21434 устанавливая единые требования для проектирования, тестирования и сопровождения автономных систем.

В России развитие нормативной базы происходит быстро, но 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.

Сравним в таблице 3 международные и российские стандарты.

Таблица 3 – Сравнительная таблица

Категория	Международные стандарты	Российские стандарты
Функциональная безопасность	ISO 26262 (ASIL-D)	ГОСТ Р ИСО 26262-2021
Кибербезопасность	ISO/SAE 21434	ГОСТ Р ИСО/САОЕ 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.

5. 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 (например, в Сколково, Москве и Татарстане), но они ограничены замкнутыми зонами и не обеспечивают достаточного объёма данных для статистически значимого анализа. 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.

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.

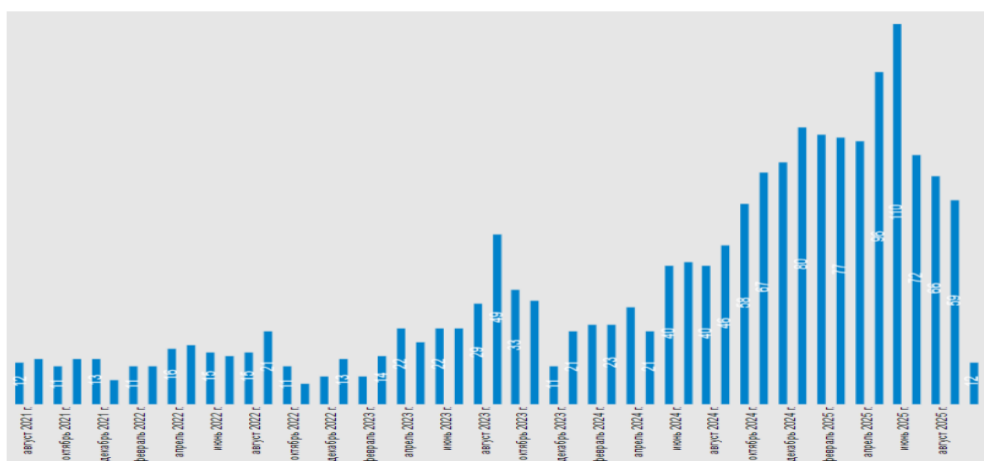


Рисунок 4 - Число столкновений автомобилей, оснащенных системами автоматического вождения (ADS) на трассах США по состоянию на 15 сентября 2025 года

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.

Однако прямое сопоставление этих «сырых» цифр является методологически некорректным и вводит в заблуждение по ряду фундаментальных причин, которые необходимо разъяснить

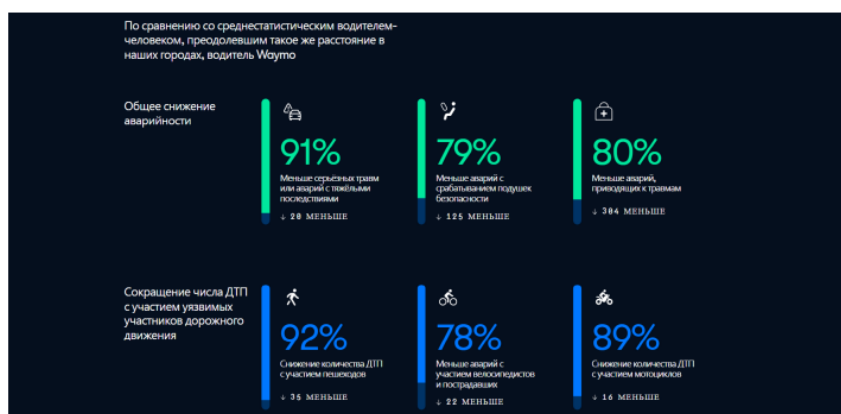


Рисунок 5 - Сравнение аварийности с участием среднестатистического водителя-человека и автомобиля Waymo

1. Систематическое искажение отчётности

Беспилотные автомобили (БПА) оснащены высокоточной телеметрией, фиксирующей каждый малейший контакт, даже незначительное касание бампера на парковке, которое водитель-человек может и не заметить. Эти данные автоматически передаются регуляторам и входят в официальную статистику. В то же время статистика ДТП с участием людей базируется исключительно на полицейских протоколах, составляемых лишь при наличии материального ущерба, травм или нарушений ПДД. Подавляющее большинство мелких столкновений — «парковочных царапин», «лёгких толчков» — остаётся вне учёта. Таким образом, сравниваются данные БПА, отражающие почти 100% инцидентов, с верхушкой айсберга человеческой аварийности — что создаёт иллюзию более высокой опасности автономных систем.

2. Несопоставимость условий эксплуатации

Тестирование автономных такси уровня 4 ведётся преимущественно в экстремально сложных городских средах — таких как Сан-Франциско или Финикс — с высокой плотностью трафика, непредсказуемыми пешеходами, велосипедистами и нестандартной инфраструктурой. В таких условиях частота инцидентов заведомо выше. В то же время статистика по человеческим водителям «размывается» за счёт огромного объёма пробега по относительно безопасным загородным и магистральным дорогам, где риск ДТП значительно ниже. Сравнение этих двух контекстов без учёта различий в ODD (Operational Design Domain) вводит в заблуждение.

3. Проблема определения вины и искажение причинно-следственной связи

Анализ инцидентов с участием БПА показывает, что в более чем 90% случаев виновником является водитель традиционного автомобиля — например, при столкновении с остановившимся по правилам автономным транспортным средством. Тем не менее, поскольку БПА формально участвует в событии, оно автоматически включается в статистику «аварий с участием автономных автомобилей», хотя и не является их причиной. Это приводит к систематическому переоценке рисков автономных технологий: статистика фиксирует *участие*, а не *вину*, искажая реальную картину безопасности.

Понимание этих искажений позволяет перейти к более корректному анализу. Вместо сравнения общего числа «касаний» следует оценивать тяжесть последствий на сопоставимых территориях. Именно такой подход используют компании-лидеры, как Waymo. В своих отчетах они сравнивают показатели своих БПА с усредненными человеческими показателями в тех же самых городах. Результаты такого анализа гораздо более показательны.

По данным Waymo, их технология обеспечила на 91% меньше аварий с серьезными травмами и на 80% меньше аварий с любыми травмами по сравнению с водителями-людьми на тех же маршрутах [9]. Это демонстрирует ключевое преимущество БПА, даже если они не могут избежать всех мелких

инцидентов (часто по вине других), их предсказуемое и законопослушное поведение помогает предотвращать именно опасные, 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.

Экспериментальный правовой режим (ЭПР) по тестированию беспилотников проводился с апреля 2022 по ноябрь 2024 года. В ходе эксперимента произошло 36 ДТП с участием беспилотных авто. 26 из них случились, когда машины находились в автоматизированном режиме управления, и 10 — в ручном режиме. Отмечается, что только два ДТП произошли по вине беспилотника, остальные — по вине другого участника движения.

Экспериментальный правовой режим (ЭПР) по тестированию беспилотников проводился с апреля 2022 по ноябрь 2024 года. В ходе эксперимента произошло 36 ДТП с участием беспилотных авто. 26 из них случились, когда машины находились в автоматизированном режиме управления, и 10 — в ручном режиме. Отмечается, что только два ДТП произошли по вине беспилотника, остальные — по вине другого участника движения.

Таблица 3 - Сравнительный анализ показателей безопасности (данные за 2023–2025 гг.)

Показатель	Беспилотные автомобили (Уровень 4, напр. Waymo)	Традиционные автомобили (с человеком за рулем)	Источник данных
Аварии с серьезными травмами	На 91% ниже среднего показателя по	Усреднённый показатель по	Waymo Safety Impact Report [6]

	городам тестирования	США (база сравнения)	
Аварии с любыми травмами	На 80% ниже среднего показателя по городам тестирования	Усреднённый показатель по США (база сравнения)	Waymo Safety Impact Report [6]
Общее количество инцидентов (на 1 млн миль)	9.1 (включая мелкие касания, без травм)	4.1 (включая все ДТП, по данным DMV)	Департамент транспортных средств Калифорнии (DMV) [5]
Точность предсказания водительских событий	93.61% (на основе анализа ЭЭГ-сигналов в симуляциях)	Не применимо (человеческий фактор непредсказуем)	Исследование на основе ЭЭГ- данных [7]

При этом только за 2024 год в России произошло более 116 000 обычных ДТП.

За время эксперимента беспилотниками было совершено более 92 000 поездок, из них 70 000 — в Сириусе, 20 000 — в Иннополисе, 2000 — в Ясенево.

Таким образом, при правильной интерпретации данных становится очевидно, что технология высоких уровней автономности уже сегодня демонстрирует значительный потенциал в снижении тяжести ДТП, что является ее главной целью.

6. Этические и правовые аспекты обеспечения безопасности

Одним из центральных этических вызовов автономных автомобилей является проблема принятия решений в критических ситуациях — так называемый «дилемма трамвая». Когда система должна выбрать между

минимизацией ущерба для пассажиров и защитой пешеходов, на каких принципах должно основываться её решение? Заложенные в алгоритмы правила могут отражать культурные, социальные или даже коммерческие предпочтения, что ставит под вопрос нейтральность и справедливость искусственного интеллекта. Отсутствие прозрачности в логике принятия решений затрудняет этическую оценку и общественное принятие таких систем, особенно когда их действия приводят к травмам или смертям.

С правовой точки зрения, традиционная система ответственности, основанная на вине водителя, перестаёт работать в условиях полной автономии. Если авария произошла из-за сбоя программного обеспечения, ошибки датчиков или некорректного обучения искусственного интеллекта, кто несёт юридическую ответственность — производитель, разработчик, владелец или даже поставщик данных? В большинстве стран законодательство ещё не адаптировано к этим сценариям. Отсутствие единых международных стандартов приводит к правовому вакууму, в котором пострадавшие могут не получить компенсацию, а компании — нести непредсказуемые риски. Это требует пересмотра законов о гражданской ответственности, страхования и сертификации автономных систем.

Для устойчивого развития отрасли необходимо создание этических рамок, согласованных с правовыми нормами. Это включает обязательную прозрачность алгоритмов, публичные отчёты о решениях искусственного интеллекта в аварийных ситуациях, а также внедрение «этических аудитов» на всех этапах разработки. Правительства должны сотрудничать с технологическими компаниями, юристами и этическими комиссиями для разработки универсальных принципов, таких как приоритет человеческой жизни, минимизация вреда и подотчётность. Только сочетание строгого регулирования, этической ответственности и технологической прозрачности позволит обеспечить безопасность автономных транспортных средств не только технически, но и морально и юридически.

Итак, 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.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ современного состояния сферы беспилотного автомобильного транспорта позволяет сделать вывод, что отрасль находится на этапе перехода от прототипов и локальных тестов к попыткам массового коммерческого внедрения. Несмотря на стремительный технологический прогресс, сохраняется ряд критических барьеров, препятствующих полной автономизации дорожного движения.

Основные итоги анализа:

1) Технологическая готовность: достигнут высокий уровень развития систем компьютерного зрения и навигации. Однако разработчики все еще сталкиваются с проблемой «последнего процента» — сложности обучения ИИ корректному поведению в непредсказуемых или экстремальных дорожных ситуациях.

2) Инфраструктурный разрыв: существует значительное несоответствие между возможностями беспилотников и текущим состоянием дорожной сети. Для полноценной эксплуатации требуется создание «умной» инфраструктуры (V2I — связь автомобиля с дорожными объектами), выделенных полос и цифровых карт высокой четкости.

3) Нормативно-правовые барьеры: законодательная база во многих странах, включая Россию, отстает от темпов развития технологий. Ключевыми остаются вопросы юридической ответственности при ДТП и отсутствие единых международных стандартов сертификации автономных систем.

4) Экономические перспективы: ожидается, что наибольший эффект технология принесет в сфере логистики и коммерческих грузоперевозок, где исключение человеческого фактора позволяет снизить себестоимость и повысить ритмичность поставок. Также прогнозируется трансформация рынка личного транспорта в сторону моделей совместного использования (MaaS).

5) Социальный аспект: Доверие общества к беспилотникам остается умеренным. Пользователи признают преимущества в плане безопасности и

доступности транспорта для маломобильных граждан, но выражают опасения по поводу кибербезопасности и надежности алгоритмов.

Общий вывод: Беспилотный транспорт является одной из наиболее перспективных точек роста мировой экономики, однако его повсеместное внедрение в ближайшие годы будет носить нишевый характер (закрытые территории, магистральные грузоперевозки по спецкоридорам, роботакси в ограниченных зонах) до момента решения инфраструктурных и правовых коллизий.

Теоретические основы применения беспилотных систем в автомобилях демонстрируют глубокую эволюцию от простых дистанционно управляемых устройств до сложных киберфизических систем, опирающихся на искусственный интеллект, мультисенсорное восприятие и высокопроизводительные вычислительные платформы. Классификация по габаритам, назначению, приводу, уровню автономности и конструкции позволяет систематизировать разнообразие беспилотных решений и адаптировать их под конкретные задачи от городской логистики до промышленных и военных применений. Международные стандарты задают глобальные ориентиры безопасности и надежности, в то время как Россия, несмотря на значительный прогресс в пилотных проектах и адаптации норм, пока находится на стадии формирования полноценной нормативно-правовой базы, что требует ускоренного синхронизирования с мировыми практиками для обеспечения конкурентоспособности и безопасности внедрения технологий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

7. Беспилотные авто опаснее обычных
<https://www.computerra.ru/288319/bespilotnye-avto-opasnee-obychnyh/?ysclid=mowmgfevmj373265230>
8. В России подсчитали число аварий с беспилотными машинами
https://4pda.to/2025/02/06/438344/v_rossii_podschitali_chislo_avarij_s_bespilotnymi_mashinami/?ysclid=mowmho8jnc177335637
9. 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.
10. Макаров, Л. М. Проектирование беспилотных транспортных средств: учебное пособие / Л. М. Макаров. — СанктПетербург : 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.

11. 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.

12. 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.