

УДК 656.1:004.896

БЕЗОПАСНОСТЬ АВТОНОМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ: КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ И СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

Куверин Игорь Юрьевич, к.т.н., доцент СГТУ имени Гагарина Ю.А., Саратов, Россия, E-mail: igorkuv@mail.ru

Гусев Сергей Александрович, д.э.н., зав. кафедрой СГТУ имени Гагарина Ю.А., Саратов, Россия,

E-mail: o051nm@yandex.ru

Блинов Дмитрий Геннадьевич, аспирант СГТУ имени Гагарина Ю.А., Саратов, Россия,

E-mail: bdg@rusptk.com

АННОТАЦИЯ

В статье проводится комплексный анализ безопасности автономных транспортных средств как перспективного решения глобальной проблемы дорожно-транспортного травматизма. На основе актуальных данных за 2023-2025 годы из международных источников, проводится сравнительная оценка аварийности беспилотных и традиционных автомобилей. Подробно рассматривается технологический потенциал автономных систем для исключения человеческого фактора – основной причины ДТП. Исследуются ключевые барьеры массового внедрения: технические ограничения, проблемы кибербезопасности, правовая неопределенность и низкий уровень общественного доверия. В заключении формулируются стратегические направления для безопасной интеграции технологий, включая развитие нормативной базы, повышение прозрачности тестирования и совершенствование алгоритмов искусственного интеллекта.

Ключевые слова: беспилотные автомобили, интеллектуальный транспорт, безопасность дорожного движения, автономные транспортные средства, искусственный интеллект, общественное восприятие, нормативное регулирование.

SAFETY OF AUTONOMOUS VEHICLES: COMPREHENSIVE ANALYSIS AND STRATEGIC PERSPECTIVES

Igor Y. Kuverin, PhD, Associate Professor, Gagarin State Technical University, Saratov, Russia,

E-mail: igorkuv@mail.ru

Sergey A. Gusev, Doctor of Economics, Head of the Department of Gagarin State Technical University, Saratov, Russia,

E-mail: o051nm@yandex.ru

Dmitry G. Blinov, postgraduate student at Gagarin State Technical University, Saratov, Russia,

E-mail: bdg@rusptk.com

ANNOTATION

The article provides a comprehensive analysis of the safety of autonomous vehicles as a promising solution to the global problem of road traffic injuries. Based on up-to-date data for 2023-2025 from international sources (NHTSA, Waymo, AAA), a comparative assessment of the accident rate of unmanned and traditional vehicles is carried out. The technological potential of autonomous systems to eliminate the human factor, which is the main cause of an accident, is considered in detail. The key barriers to mass adoption are being investigated: technical limitations, cybersecurity issues, legal uncertainty, and a low level of public trust. In conclusion, strategic directions for the safe integration of technologies are formulated, including the development of a regulatory framework, increasing transparency of testing and improving artificial intelligence algorithms.

Keywords: self-driving cars, intelligent transport, road safety, autonomous vehicles, artificial intelligence, public perception, regulatory regulation.

Введение

Ежегодно в результате дорожно-транспортных происшествий гибнет около **1,3 миллиона человек** во всем мире, а дорожный травматизм является основной причиной смерти детей и молодых людей в возрасте 5-29 лет. Подавляющее большинство этих аварий вызвано человеческим фактором: превышением скорости, вождением в состоянии опьянения, отвлечением внимания. В поисках решения этой масштабной проблемы производители и технологические компании активно разрабатывают автономные транспортные средства, призванные исключить человеческие ошибки из уравнения безопасности. Данный анализ предлагает всесторонний обзор текущего состояния технологий, статистики безопасности, общественного восприятия и нормативно-правовой базы, определяющих будущее беспилотного транспорта.

1. Методология исследования

Настоящая работа представляет собой аналитический обзор. Сбор и анализ информации проводился на основе вторичных данных из открытых источников.

Критериями отбора источников являлись:

1. **Актуальность:** основной массив данных и отчетов охватывает период 2023-2025 гг., что позволяет отразить самое современное состояние проблемы;
2. **Авторитетность и верифицируемость:** использовались официальные отчеты государственных регуляторов (NHTSA), корпоративные отчеты о безопасности от ведущих разработчиков (Waymo), данные социологических опросов от крупных отраслевых ассоциаций (AAA), а также рецензируемые научные публикации;
3. **Релевантность:** отбирались материалы, напрямую касающиеся вопросов безопасности, статистики ДТП, технологий и общественного восприятия беспилотных автомобилей.

В работе применялся комплексный подход, включающий следующие методы анализа:

1. **Сравнительный анализ:** использовался для сопоставления показателей аварийности автономных и традиционных автомобилей, а также для оценки различий в общественном восприятии и подходах к нормативному регулированию в разных странах;
2. **Критический анализ статистических данных:** вместо прямого статистического моделирования основной упор был сделан на критическую оценку и интерпретацию существующих статистических отчетов. Этот метод позволил выявить методологические искажения в «сырых» данных об аварийности (например, систематическую ошибку отчетности и несопоставимость сред эксплуатации) и провести более корректное сравнение на основе тяжести последствий ДТП, а не их общего числа;
3. **Системный анализ:** позволил рассмотреть проблему безопасности не как изолированную техническую задачу, а как сложную систему, включающую взаимосвязанные элементы: технологические (сенсоры, ИИ), инфраструктурные (V2X), правовые (ответственность) и социальные (общественное доверие).

2. Классификация уровней автоматизации вождения

Для систематизации и унификации понятий в области автоматизации вождения широкое применение нашла классификация, разработанная Сообществом автомобильных инженеров (SAE International) в стандарте J3016. Данная классификация определяет шесть уровней автоматизации, от 0 до 5, которые описывают степень участия автоматизированной системы

в процессе управления транспортным средством (рис. 1).

SAE J3016 УРОВНИ АВТОМАТИЗАЦИИ ВОЖДЕНИЯ

	УРОВЕНЬ 0	УРОВЕНЬ 1	УРОВЕНЬ 2	УРОВЕНЬ 3	УРОВЕНЬ 4	УРОВЕНЬ 5
Что должен делать водитель?	Вы ведёте автомобиль, даже если ноги находятся не на педалях, а руки не на руле			Вы не ведёте автомобиль, если активированы функции автоматического вождения		
	Вы обязаны следить за электронными ассистентами и подруливать, разгоняться и тормозить при необходимости			Если система попросит, вы должны взять управление на себя	Электронные ассистенты не требуют от человека брать управление на себя	
	Системы помощи водителю			Системы беспилотного вождения		
Что делает автоматика?	Ассистенты лишь предупреждают и оказывают кратковременную помощь	Ассистенты помогают рулить ИЛИ ускоряться/тормозить	Ассистенты помогают рулить И ускоряться/тормозить	Система может самостоятельно вести автомобиль только при одновременном выполнении нескольких условий		Система может самостоятельно вести автомобиль при любых условиях
Примеры систем	<ul style="list-style-type: none"> Автоматическое экстренное торможение; Предупреждение о слепых зонах; Предупреждение о покидании полосы 	<ul style="list-style-type: none"> Удержание в полосе ИЛИ Адаптивный круиз-контроль 	<ul style="list-style-type: none"> Удержание в полосе И Адаптивный круиз-контроль одновременно 	<ul style="list-style-type: none"> Ассистент движения в дорожных заторах 	<ul style="list-style-type: none"> Местное беспилотное такси; У автомобиля может не быть руля и педалей 	<ul style="list-style-type: none"> То же самое, что уровень 4, но способность автономного передвижения сохраняется везде

Рис. 1 – Уровни автоматизации вождения согласно SAE J3016 [1]

- Уровень 0 (Отсутствие автоматизации):** Водитель полностью контролирует все аспекты вождения. Системы могут лишь информировать или предупреждать (например, ABS).
- Уровень 1 (Помощь водителю):** Система осуществляет либо продольный, либо поперечный контроль. Примерами являются адаптивный круиз-контроль или система удержания в полосе.
- Уровень 2 (Частичная автоматизация):** Система способна одновременно осуществлять продольный и поперечный контроль в определенных условиях (например, на автомагистрали). Водитель обязан осуществлять непрерывный мониторинг дорожной ситуации и быть готовым в любой момент взять управление на себя.
- Уровень 3 (Условная автоматизация):** Система полностью управляет автомобилем в определенных условиях, водитель может не следить за дорогой, но должен быть готов перехватить управление по запросу системы. Роль водителя определяется как «резервная».
- Уровень 4 (Высокая автоматизация):** Система обеспечивает полный контроль над движением в пределах определенной, заранее заданной среды (например, на трассах с высокодетализированными картами). Вмешательство водителя не требуется, пока автомобиль находится в этой среде.
- Уровень 5 (Полная автоматизация):** Система способна выполнять все функции вождения в любых условиях, которые может осилить водитель-человек. Наличие органов ручного управления не является обязательным. На сегодняшний день, согласно отраслевым отчетам, технологии 5-го уровня не реализованы.

Оценка текущего состояния внедрения высокоавтоматизированных автотранспортных средств (ВАТС) в мире и в Российской Федерации показывает доминирование систем 0-2 уровней на коммерческом рынке, в то время как уровни 3-4 находятся на стадии пилотных проектов и тестовой эксплуатации (рис. 2).



Рис. 2 – Текущее состояние по этапам внедрения автомобилей с различными уровнями автоматизации в мире и в Российской Федерации

3. Безопасная интеграция ВАТС: среда штатной эксплуатации и требования к инфраструктуре

Ключевым условием безопасного внедрения ВАТС является их поэтапная интеграция в существующую транспортную систему. Концепция обеспечения безопасности дорожного движения выделяет три фундаментальных компонента:

1. **Безопасность через ситуационную осведомленность ВАТС**, достигаемая за счет использования возможностей дорожно-транспортной инфраструктуры (ДТИ).
2. **Безопасность через функциональные возможности ВАТС**, включая обмен информацией между транспортными средствами (V2V).
3. **Безопасность через организацию дорожного движения** с помощью интеллектуальных транспортных систем (ИТС).

Для митигации рисков, связанных с эксплуатацией ВАТС, вводится понятие среды штатной эксплуатации (СШЭ) – строго определенного набора условий, в которых автоматизированная система вождения (АСВ) может функционировать надежно (рис. 3). СШЭ регламентирует такие параметры, как тип дороги, диапазон скоростей, географические и погодные условия, а также требования к наличию инфраструктурной поддержки.

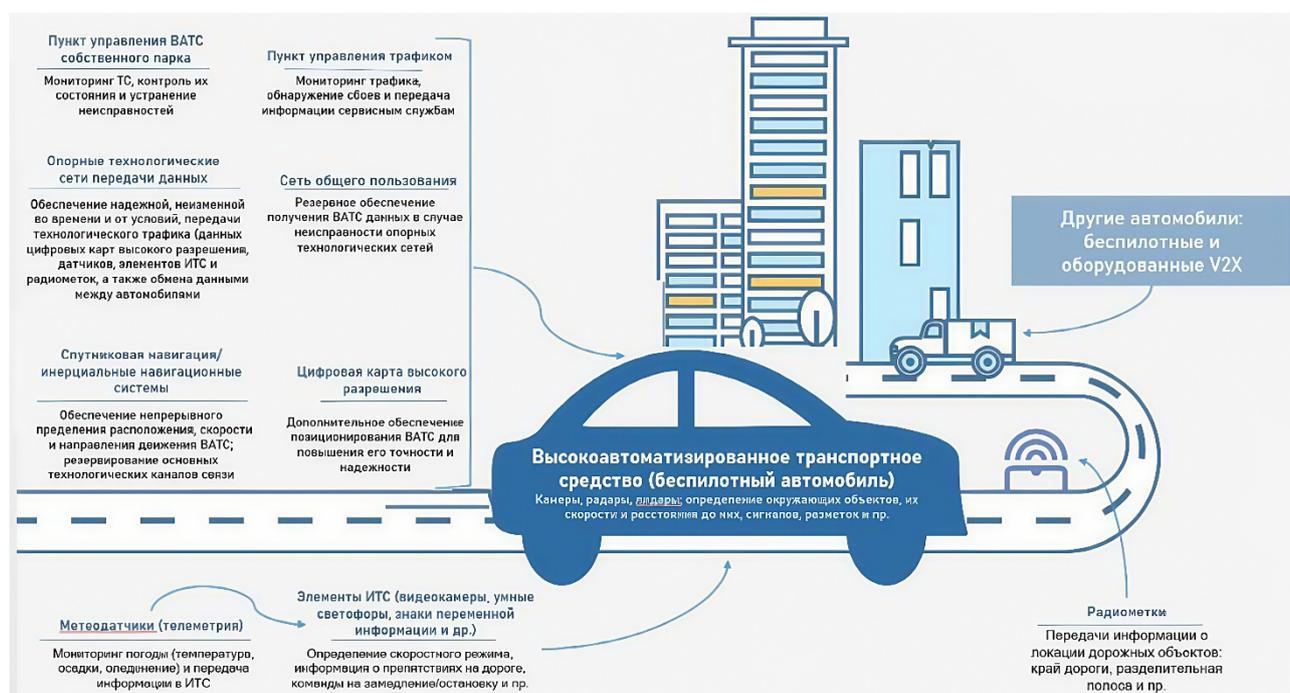


Рис. 3 – Обобщенная схема инфраструктурного окружения ВАТС

Выделяется три типа СШЭ:

1. **СШЭ первого типа:** ВАТС функционирует автономно, полагаясь исключительно на бортовые сенсоры и статические карты. Скорость движения ограничивается дальностью уверенного распознавания объектов сенсорами.
2. **СШЭ второго типа:** ВАТС дополнительно использует динамическую цифровую карту высокого разрешения, что позволяет прогнозировать появление помех и превентивно корректировать скоростной режим.
3. **СШЭ третьего типа:** Обеспечивается полное сетевое взаимодействие ВАТС с ДТИ и другими участниками движения (V2X). АСВ получает исчерпывающую информацию о дорожной обстановке в реальном времени, что позволяет двигаться с максимально возможной безопасной скоростью.

Для реализации СШЭ третьего типа и обеспечения безопасного движения ВАТС к дорожно-транспортной инфраструктуре предъявляется ряд строгих требований. Обобщенная схема инфраструктурного окружения ВАТС представлена на рисунке 3. Ключевыми элементами являются:

1. Интеллектуальная транспортная система (ИТС), включающая подсистемы управления потоками, контроля правил дорожного движения (ПДД), информирования и т.д.
2. Система высокоточного позиционирования на основе спутниковых технологий (ГНСС) с дифференциальной коррекцией от сети референчных базовых станций.
3. Цифровая модель дороги (ЦМД) – динамическая высокоточная карта, содержащая сведения о геометрии дороги, разметке, знаках, а также данные о дорожной обстановке в реальном времени.
4. Устойчивое покрытие высокоскоростными сетями связи для обеспечения непрерывного обмена данными.

4. Технологии взаимодействия V2X (Vehicle-to-Everything)

Эффективное функционирование ВАТС в смешанном транспортном потоке невозможно без организации информационного обмена между всеми его участниками. Эта парадигма получила название V2X (Vehicle-to-Everything) и включает следующие типы взаимодействия:

1. **V2V (Vehicle-to-Vehicle):** Прямой обмен данными между транспортными средствами для координации маневров и предотвращения столкновений.
2. **V2I (Vehicle-to-Infrastructure):** Взаимодействие транспортного средства с элементами дорожной инфраструктуры (светофорами, дорожными контроллерами RSU).
3. **V2C (Vehicle-to-Cloud/Center):** Связь с центральной платформой интеллектуальной транспортной системы (ИТС) для получения данных о трафике, маршрутах и обновления ЦМД.
4. **V2P (Vehicle-to-Pedestrian):** Информирование о приближении пешеходов и других уязвимых участников движения.

Для реализации V2X-коммуникаций на сегодняшний день конкурируют два основных технологических стандарта:

1. **ITS-G5:** Основан на стандарте Wi-Fi 802.11p (DSRC), характеризуется низкой задержкой и предназначен для прямой связи на коротких дистанциях. Принят в качестве основного в Европе.
2. **C-V2X (Cellular-V2X):** Использует технологии сотовой связи (LTE, 5G). Обладает двумя режимами работы: прямая связь с низкой задержкой (интерфейс PC5) и связь через сотовую сеть (интерфейс Uu) для некритичных ко времени задач. Данная технология принята в качестве основной в Китае.

Переход к широкой эксплуатации высокоавтоматизированных транспортных средств является системной задачей, выходящей за рамки совершенствования самого автомобиля. Успешное и безопасное внедрение ВАТС напрямую зависит от создания комплексной цифровой экосистемы, включающей интеллектуальную дорожную инфраструктуру, системы высокоточного позиционирования, динамические цифровые модели дорог и стандартизированные технологии V2X-взаимодействия. Определение и нормативное закрепление сред штатной эксплуатации для различных уровней автоматизации является ключевым механизмом управления рисками на начальных этапах интеграции беспилотного транспорта в дорожное движение.

5. Технологический ландшафт: что движет беспилотниками?

Теоретический потенциал автономных транспортных средств для спасения жизней огромен. В отличие от людей, машины не устают, не отвлекаются на сообщения в телефоне и не управляют транспортом в состоянии алкогольного или наркотического опьянения. Однако эта надежность обеспечивается сложным комплексом технологий, каждая из которых вносит свой вклад в общую безопасность.

1. **Ликвидация человеческого фактора:** Беспилотные системы могут быть запрограммированы на неукоснительное соблюдение правил дорожного движения, включая ограничения скорости и дистанции. Они способны антиципировать потенциальные опасности и реагировать на них быстрее, чем человек, благодаря комплексу датчиков (лидары, радары, камеры), которые постоянно сканируют окружающее пространство на 360 градусов. Современные системы искусственного интеллекта, построенные на передовых фреймворках, таких как PyTorch и TensorFlow, позволяют обрабатывать эти данные в реальном времени, распознавая пешеходов, другие транспортные средства и дорожные знаки [2].

2. **Обеспечение безопасности пассажиров:** Автономные автомобили могут быть оснащены системами, которые не только напоминают, но и обеспечивают использование ремней безопасности всеми пассажирами, а также корректную установку детских удерживающих устройств.
3. **Оптимизация дорожного движения:** Сети взаимодействующих друг с другом беспилотников (технология V2X – Vehicle-to-Everything) могут координировать свои действия, что позволяет снизить заторы, минимизировать резкие торможения и, как следствие, уменьшить количество аварий, вызванных «эффектом гармошки». Это направление активно развивается в рамках исследований по оптимизации логистики и расписаний (Vehicle Routing Problem – VRP), которые напрямую связывают со снижением операционных расходов (ОРЕХ) и повышением пропускной способности дорог [3].

Таблица 1

Ключевые технологические компоненты беспилотного автомобиля и их функции

Компонент	Принцип работы	Основная функция	Преимущества	Ограничения
Лидар (LiDAR)	Испускает лазерные импульсы и измеряет время их возврата	Построение высокоточного 3D-карты окружающего пространства	Высокая точность измерения дистанции, работает в темноте	Чувствителен к плотному дождю, снегу; высокая стоимость
Радар (Radar)	Излучает радиоволны и улавливает отраженные сигналы	Измерение скорости и дистанции до объектов, работа в плохую погоду	Надежно работает в дождь, туман, снегопад	Низкое разрешение, сложность в определении типа объекта
Компьютерное зрение (Камеры)	Запись и анализ видеопотоков с помощью нейросетей	Распознавание объектов, цветов, чтение дорожных знаков, детализация	Способность распознавать мелкие объекты (жесты, мимика)	Зависимость от освещенности, возможность ослепления

6. Текущие данные и статистика: обещания против реальности

Несмотря на оптимистичные прогнозы, реальные данные, особенно касающиеся систем второго уровня автономности (уровень 2 ADAS), которые все еще требуют постоянного внимания водителя, рисуют неоднозначную картину. Анализ актуальной статистики требует чрезвычайной осторожности, чтобы отделить рекламные заявления от фактических результатов и не попасть в ловушку некорректных сравнений.

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 (рис. 4) [4].

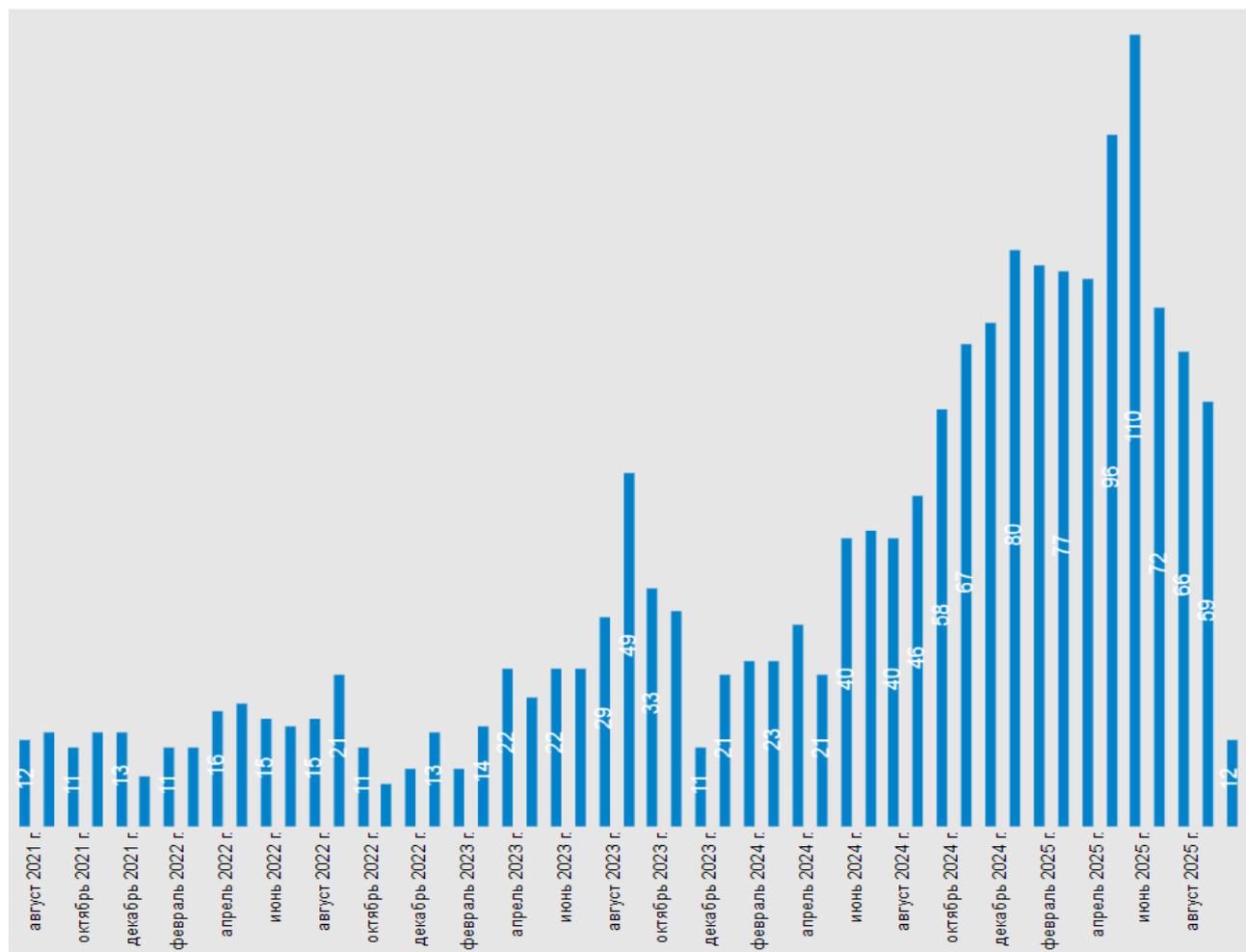


Рис. 4 – Число столкновений автомобилей, оснащенных системами автоматического вождения (ADS) на трассах США по состоянию на 15 сентября 2025 года [4]

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 (рис. 5) [5].

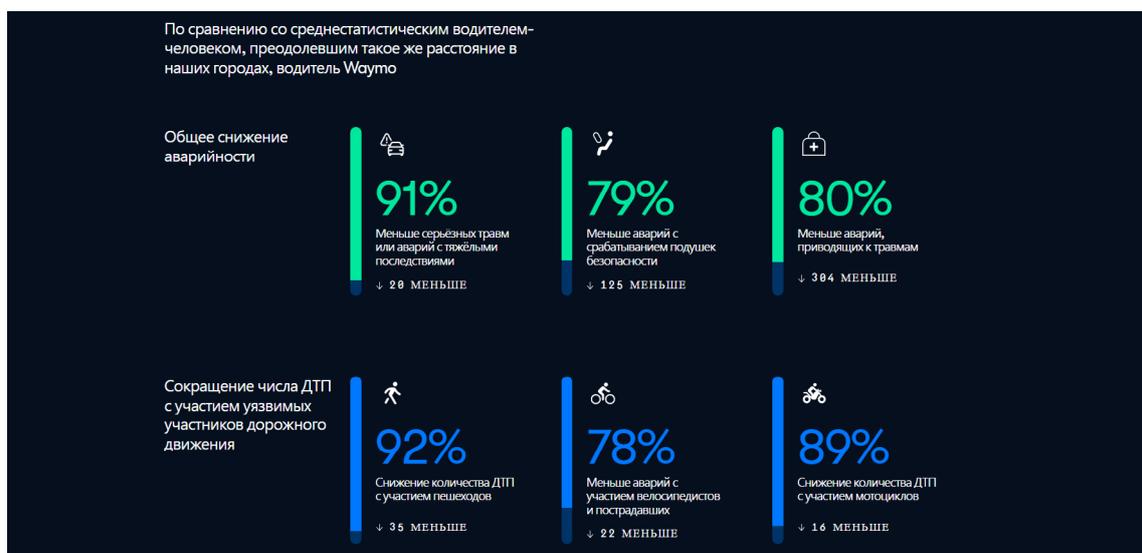


Рис. 5 – Сравнение аварийности с участием среднестатистического водителя-человека и автомобиля Waymo

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

Критический анализ данных об аварийности:

1. Систематическая ошибка отчетности: Беспилотные автомобили (БПА) оснащены телеметрией, которая фиксирует и передает регулятору данные о любом инциденте, включая малейшее касание бампером на парковке, которое водитель-человек даже не заметил бы. Статистика по людям, напротив, основана преимущественно на полицейских отчетах, которые составляются только для более-менее серьезных ДТП. Подавляющее большинство мелких инцидентов никогда не попадает в официальную статистику. Таким образом, мы сравниваем почти 100% отчетность БПА с верхушкой айсберга человеческих ДТП.
2. Несопоставимость сред эксплуатации (ODD): Тестирование беспилотных такси (Уровень 4) проходит в основном в сложнейших городских условиях (Сан-Франциско, Финикс) с высокой плотностью трафика, пешеходов и непредвиденных ситуаций, где частота инцидентов объективно выше. Статистика по человеку «размыта» за счет огромного пробега по относительно безопасным загородным трассам.
3. Проблема определения вины: Анализ отчетов показывает, что в подавляющем большинстве инцидентов с участием БПА (более 90% случаев) виновником был водитель-человек, который, например, врезался сзади в остановившийся по правилам беспилотник. Формально БПА становится «участником» ДТП и попадает в статистику, не будучи его причиной.

Понимание этих искажений позволяет перейти к более корректному анализу. Вместо сравнения общего числа «касаний» следует оценивать тяжесть последствий на сопоставимых территориях [6-8]. 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 (таблица 2).

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 [10, 11].

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 [7].

Таблица 2

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

Показатель	Беспилотные автомобили (уровень 4, e.g., Waymo)	Традиционные автомобили (с человеком за рулем)	Источник данных
Аварии с серьезными травмами	На 91% ниже	Усредненный показатель по городам тестирования	Waymo Safety Impact Report [6]
Аварии с любыми травмами	На 80% ниже	Усредненный показатель по городам тестирования	Waymo Safety Impact Report [6]

Показатель	Беспилотные автомобили (уровень 4, e.g., Waymo)	Традиционные автомобили (с человеком за рулем)	Источник данных
Общее количество инцидентов (на млн. миль)	9.1 (включая мелкие)	~4.1	Анализ данных департамента транспортных средств США (DMV) [5]
Предсказание водительских событий	93.61% (по данным ЭЭГ)	Не применяется	Исследование на основе ЭЭГ [7]

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.

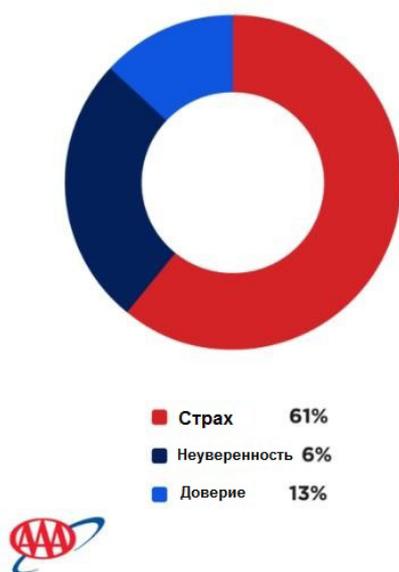
7. Препятствия на пути широкого внедрения: за пределами технологий

Даже если технология докажет свое превосходство в безопасности, ее повсеместное принятие столкнется с рядом комплексных вызовов, лежащих в технической, социальной, правовой и этической плоскостях.

- Недоверие общества:** Согласно последнему опросу Американской автомобильной ассоциацией (AAA), проведенному в феврале 2025 года, **шесть из десяти водителей в США** признаются, что боятся ездить в беспилотном автомобиле. Несмотря на небольшой рост по сравнению с предыдущим годом, лишь **13%** респондентов заявили, что доверяют этой технологии (рис. 6) [13]. Аналогичные тенденции наблюдаются и в других странах. Опрос в Китае показал, что, хотя более половины респондентов имели опыт поездки в беспилотном такси, вопросы безопасности и ответственности остаются для них ключевыми [14]. Высокий уровень скептицизма напрямую влияет на готовность потребителей платить за автономные функции и на политическую волю для их широкого одобрения.

Отношение водителей к беспилотным автомобилям

Ответы на опрос 2025 года



Отношение водителей с течением времени

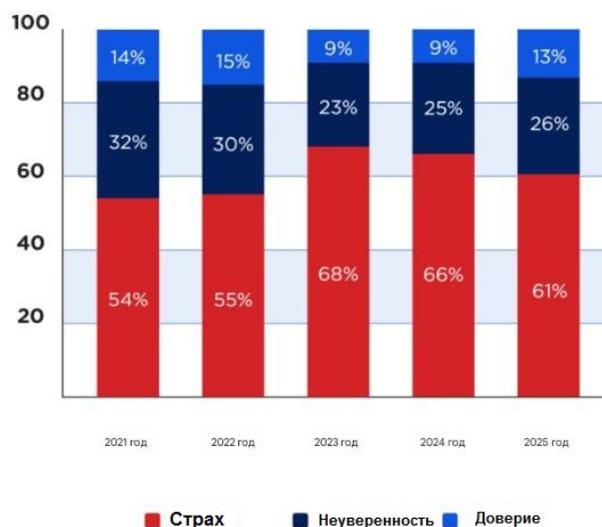


Рис. 6 – Отношение водителей к беспилотным транспортным средствам [13]

- **Проблема ответственности (Liability ambiguity):** В случае аварии беспилотного автомобиля возникает сложный юридический вопрос: кто виноват? Водитель (который не управлял машиной), производитель автомобиля, разработчик программного обеспечения или компания, обслуживающая парк? Единой нормативной базы, регулирующей эти вопросы, на сегодняшний день не существует [15]. Это создает правовую неопределенность, которая замедляет развертывание технологий и отпугивает страховые компании.
- **Кибербезопасность:** Высокая зависимость автономных автомобилей от программного обеспечения и подключения к сетям делает их потенциальной мишенью для хакерских атак. Угрозы варьируются от утечки данных пассажиров (маршруты, предпочтения) до, что еще опаснее, захвата контроля над критически важными системами – рулением, торможением, ускорением [16]. Производителям необходимо внедрять многоуровневые системы защиты, включая регулярные обновления безопасности и криптографическое шифрование каналов связи.
- **Технические и экологические ограничения:** Датчики беспилотных автомобилей (камеры, лидары) могут работать с перебоями в сложных погодных условиях: при сильном дожде, снегопаде или тумане. Нестандартные ситуации на дорогах, такие как действия дорожных рабочих или неисправность другого транспортного средства, также остаются серьезным испытанием для искусственного интеллекта. Алгоритмы глубокого обучения, включая нейронные сети, требуют огромного количества разнообразных данных для обучения, чтобы корректно реагировать на редкие, но опасные «пограничные случаи» (edge cases) [17].
- **Этические дилеммы и проблема «вагонетки»:** Помимо технических и правовых барьеров, одним из самых сложных является этический аспект принятия решений искусственным интеллектом, особенно в неизбежных аварийных ситуациях. Этот вызов часто иллюстрируется классическим мысленным экспериментом – «проблемой вагонетки» (Trolley Problem), адаптированной для беспилотных автомобилей.

Представим ситуацию, когда столкновение неизбежно. Как должен поступить автомобиль, если у него есть выбор:

1. Свернуть на тротуар и сбить группу пешеходов, чтобы спасти своего пассажира?
2. Пожертвовать пассажиром, продолжив движение прямо и врезавшись в препятствие, чтобы спасти пешеходов?
3. Выбирать между разными группами пешеходов (например, пожилые люди против детей, нарушители ПДД против тех, кто переходит по правилам)?

Эти вопросы не имеют простого ответа [18, 19].

- **Утилитарный подход** предписывает минимизировать общий ущерб, то есть пожертвовать одним человеком ради спасения пятерых. Однако это может означать, что автомобиль целенаправленно примет решение пожертвовать своим владельцем. Опросы показывают, что, хотя большинство людей считают утилитарный подход правильным для *других* автомобилей, они сами не хотели бы покупать машину, запрограммированную жертвовать ими [20].
- **Деонтологический подход** утверждает, что существуют абсолютные моральные правила (например, «не убей»), и машина не должна совершать активное действие, ведущее к чьей-либо гибели, даже во имя большего блага. Это может привести к парадоксальным решениям, когда автомобиль предпочтет бездействие, которое приведет к более тяжелым последствиям.
- **Проблема алгоритмической предвзятости:** Решения, которые будет принимать ИИ, зависят от данных, на которых он обучался, и от ценностей, заложенных в него программистами. Это поднимает вопросы о культурных различиях. Например, исследование MIT «Moral Machine» показало, что предпочтения в дилеммах «вагонетки» значительно различаются между странами [21]. Чьи этические нормы – европейские, американские или азиатские – должны быть заложены в глобальный продукт?

Отсутствие единого, согласованного на международном уровне подхода к программированию «машинной этики» является серьезным препятствием. Это не просто техническая задача, а глубокая философская и социальная проблема, требующая широкого общественного диалога и выработки прозрачных нормативных принципов.

8. Взгляд в будущее: стратегические направления для безопасной интеграции

Для реализации потенциала беспилотных автомобилей в спасении жизней необходим комплексный подход, выходящий за рамки лабораторных испытаний:

1. **Развитие нормативно-правовой базы:** Государственным органам необходимо разработать четкие и единообразные стандарты безопасности для тестирования и эксплуатации автономного транспорта, а также законы, регулирующие вопросы ответственности и страхования. Это включает в себя создание «песочниц» для испытаний, утверждение процедур сертификации и установление требований к сбору и обмену данными об инцидентах.
2. **Повышение прозрачности и информированности:** Производители должны делиться агрегированными данными о безопасности, как это делает Waymo, чтобы независимые эксперты могли проводить анализ, а общественность – формировать реалистичные ожидания. Публичные демонстрационные поездки и образовательные кампании могут помочь развеять мифы и показать реальные возможности технологий.
3. **Совершенствование технологий и данных:** Необходимо продолжать работу над повышением надежности сенсоров и алгоритмов, особенно в сложных и непредсказуемых условиях. Ключевым аспектом является качество данных для обучения ИИ. Принцип «мусор на входе – мусор на выходе» как никогда актуален: для создания беспристрастных и надежных моделей требуются качественные, разнообразные и хорошо размеченные данные. Развитие концепции «умных дорог», взаимодействующих с автомобилями (Vehicle-to-Everything, V2X), также может значительно повысить общий уровень безопасности, предоставляя транспортным средствам дополнительный канал информации о дорожной обстановке.

- 4. Разработка этических рамок и борьба с предвзятостью:** Необходимо инициировать широкий общественный и междисциплинарный диалог для выработки прозрачных этических принципов принятия решений для ИИ. Эти принципы должны быть закреплены в нормативных актах. Алгоритмы должны разрабатываться и тестироваться на предмет отсутствия предвзятости по отношению к различным группам участников движения. Печально известный пример инструмента найма от Amazon, который дискриминировал женщин, служит предостережением для автомобильного сектора [22]. Беспилотные системы должны быть справедливы и надежны для всех участников дорожного движения.

Заключение

Проведенный комплексный анализ показывает, что эра безопасного автономного транспорта наступит не в результате единичного технологического прорыва, а только через построение целостной социально-технической экосистемы. Основным выводом исследования заключается в том, что парадигма развития беспилотных автомобилей смещается от чисто технологической гонки к решению системных задач в правовой, этической и инфраструктурной плоскостях.

Анализ статистики аварийности убедительно демонстрирует, что прямое сравнение «человек против машины» по общему числу инцидентов является методологически несостоятельным. Ключевой перспективой и реальным показателем успеха технологии является ее доказанная способность – как в случае с Waymo – радикально снижать тяжесть последствий ДТП, предотвращая аварии с пострадавшими. Это означает, что стратегической целью должно быть не создание «безаварийного» автомобиля в абсолюте, а внедрение системы, минимизирующей наиболее опасные риски, присущие человеческому фактору.

В то же время, анализ барьеров показывает, что технические ограничения (например, работа в плохую погоду) сегодня уступают по значимости «мягким» проблемам: правовому вакууму в вопросах ответственности, отсутствию консенсуса по этическим дилеммам и глубокому общественному недоверию. Эти вызовы не могут быть решены исключительно инженерными методами и требуют выработки новых социальных контрактов и регуляторных механизмов.

Исходя из этого, наиболее реалистичной стратегической перспективой является не массовое и одномоментное внедрение универсальных ВАС 5-го уровня, а поэтапная, гетерогенная интеграция технологии в строго определенных средах штатной эксплуатации (СШЭ). Перспективными направлениями становятся:

1. Развертывание полностью автономных грузовых коридоров на автомагистралях, где среда наиболее предсказуема.
2. Создание геоограниченных зон для беспилотных такси и шаттлов в городских центрах с развитой V2X-инфраструктурой.
3. Использование систем более низкого уровня (L2-L3) в качестве продвинутых помощников водителя, а не его полной замены, на большинстве дорог общего пользования.

Таким образом, задача заключается не в том, чтобы создать «идеального водителя» в вакууме, а в том, чтобы спроектировать «идеальную транспортную систему» для каждой конкретной среды, где технология, инфраструктура, право и ожидания общества находятся в гармонии. От успеха этого системного проектирования зависит, станет ли беспилотный автомобиль символом новой эпохи безопасности или останется сложной технологической задачей с нереализованным потенциалом.

Список использованной литературы

1. *Automated driving levels of driving automation are defined in new SAE international standard J3016* [Электронный ресурс]. – URL: <https://templatelab.com/automated-driving/> (дата обращения: 30.10.2025).
2. D. Petrović, R. Mijailović, and D. Pešić, “Traffic Accidents with Autonomous Vehicles: Type of Collisions, Manoeuvres and Errors of Conventional Vehicles’ Drivers,” *Transportation Research Procedia*, 2020. DOI: 10.1016/j.trpro.2020.03.112.
3. N. M. Proma, G. Vázquez, S. Shahbeigi, A. Badyal, and V. Hodge, “Probabilistic Safety Verification for an Autonomous Ground Vehicle: A Situation Coverage Grid Approach,” in *2025 IEEE Int. Conf. Veh. Electron. Saf.*, 2025. [Online]. Available: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3401212/v1>.
4. *Self-Driving Car Accidents Trend Chart (2025)* [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.consumershield.com/articles/self-driving-car-accidents-trends> (дата обращения: 30.10.2025).
5. *Self-Driving Car Crash Statistics* [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.pstriallaw.com/legal-news/self-driving-car-accident-statistics> (дата обращения: 30.10.2025).
6. B. Kutela, S. Das, and B. Dadashova, “Mining patterns of autonomous vehicle crashes involving vulnerable road users to understand the associated factors,” *Accident Analysis & Prevention*, 2022. DOI: 10.1016/j.aap.2021.106473.
7. B. Kutela et al., “Leveraging autonomous vehicles crash narratives to understand the patterns of parking-related crashes,” *Traffic Safety Research*, 2023. DOI: 10.55329/fiqq8731.
8. S. Kim, M. Cho, and Y. Lee, “Exploration of Traffic Accident-Based Pilot Zones for Autonomous Vehicle Safety Validation,” *Electronics*, vol. 13, no. 17, p. 3390, 2024. DOI: 10.3390/electronics13173390.
9. *Waymo Safety Impact* [Электронный ресурс]. – URL: <https://waymo.com/safety/impact/> (дата обращения: 30.10.2025).
10. A. M. Al-Emran, “A case study of unavoidable accidents of autonomous vehicles,” in *2023 Int. Conf. Intell. Syst. Comput. Vis. (ISCIV)*, 2023. DOI: 10.1109/ISCIV59145.2023.10144969.
11. M. Abdel-Aty and S. Ding, “A matched case-control analysis of autonomous vs human-driven vehicle accidents,” *Nature Communications*, vol. 15, p. 3524, 2024. DOI: 10.1038/s41467-024-48526-4.
12. EEG-based prediction of driving events from passenger cognitive state using Morlet Wavelet and Evoked Responses // *Transportation Engineering*. – 2022. – doi: 10.1016/j.treng.2022.100107.
13. *AAA: Fear in Self-Driving Vehicles Persists* [Электронный ресурс]. – URL: <https://newsroom.aaa.com/2025/02/aaa-fear-in-self-driving-vehicles-persists/> (дата обращения: 30.10.2025).
14. Отчет об опросе, посвященном осведомленности общественности и ожиданиям в отношении беспилотных автомобилей (2025) [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.rmlt.com.cn/2025/0908/739212.shtml> (дата обращения: 30.10.2025).
15. B. Wang, “Approaches to Autonomous Driving Vehicle Traffic Accidents Liability in China,” *Lecture Notes in Education Psychology and Public Media*, vol. 26, p. 437, 2023. DOI: 10.54254/2753-7048/26/20230901.
16. *Automated Vehicles for Safety* [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.nhtsa.gov/vehicle-safety/automated-vehicles-safety> (дата обращения: 30.10.2025).
17. Решения по обработке данных для обучения с использованием ИИ: что изменится в 2025 году? [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.macgence.com/blog/ai-training-data-solutions-whats-changing-in-2025/> (дата обращения: 30.10.2025).
18. C. D. Wallbridge, ““Warning!” Benefits and Pitfalls of Anthropomorphising Autonomous Vehicle Informational Assistants in the Case of an Accident,” *Multimodal Technologies and Interaction*, vol. 8, no. 12, p. 110, 2024. DOI: 10.3390/mti8120110.
19. M. M. Mayer, A. Buchner, and R. Bell, “Humans, machines, and double standards? The moral evaluation of the actions of autonomous vehicles, anthropomorphized autonomous vehicles, and human drivers in road-accident dilemmas,” *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 93, pp. 430–442, 2023. DOI: 10.1016/j.trf.2023.02.015.
20. J.-F. Bonnefon, A. Shariff, and I. Rahwan, “The Social Dilemma of Autonomous Vehicles,” *Science*, vol. 352, no. 6293, pp. 1573–1576, 2016. DOI: 10.1126/science.aaf2654.
21. E. Awad, S. Dsouza, R. Kim et al., “The Moral Machine experiment,” *Nature*, vol. 563, pp. 59–64, 2018. DOI: 10.1038/s41586-018-0637-6.
22. *Amazon Created a Hiring Tool Using A.I. It Immediately Started Discriminating Against Women* [Электронный ресурс]. – URL: <https://slate.com/business/2018/10/amazon-artificial->